

669
К 14

Н. Ф. Казаков,
А. М. Осокин,
А. П. Шишкова

5

ТЕХНОЛОГИЯ
МЕТАЛЛОВ
И ДРУГИХ
КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ

8
8
8
9
9
2
3

*Под редакцией
заслуженного деятеля науки и техники РСФСР,
доктора технических наук, профессора
Н. Ф. КАЗАКОВА*

4
4
5
7

*«Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов неметаллургических
специальностей высших учебных заведений»*

2
5
16
19
10
11
16
30
33

11339



Москва
«Металлургия» 1975

59
57
33
3

АННОТАЦИЯ

Учебное пособие написано в соответствии с программой курса «Технология конструкционных материалов» для студентов механических специальностей машиностроительных вузов. Оно содержит разделы по производству черных и цветных металлов, основы металлургии и термической обработки, литейное производство, обработка металлов давлением, основы сварочного производства, пайка металлов и сплавов, обработка металлов резанием, электрохимические и электрохимические методы формообразования поверхностей, производство машиностроительных деталей из неметаллических материалов.

В учебном пособии нашли отражение последние достижения в соответствующих областях науки и техники. Особенно подробно изложены прогрессивные способы получения и обработки металлов, сплавов и неметаллических материалов. Освещены процессы получения точных заготовок и автоматизации процессов механической обработки. Приведены технико-экономические показатели различных видов производств.

Николай Федотович Казаков
Александр Михайлович Осокин
Алла Петровна Шишкова

**ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ
И ДРУГИХ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Редактор издательства Г. Г. Кефер. Художественный редактор Г. А. Жигин. Технический редактор Э. А. Кулакова. Корректоры Н. И. Шефтель, Е. В. Якиманская. Перевел художника Н. Волкова.

Сдано в набор 1/IV 1975 г. Подписано в печать 22/IX 1975 г. Т 155,4
Формат бумаги 84×108/16. Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 36,1
Уч.-изд. л. 35,73. Тираж 85 000 (1-й завод с № 1 40 000). Заказ 116
Изд. № 2337. Цена 1 р. 36 к.

Издательство «Металлургия», 119334, Москва, Г-34, 2-й Обиденский пер., д. 11
Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательства, полиграфии и книжной
торговли

Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

© Издательство «Металлургия», 1975

К $\frac{31001-200}{040(01)-75}$ 1-75

ОБЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 15

I

**РАЗДЕЛ
ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРНЫХ
И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Глава I.	
Топливо и огнеупорные материалы, применяемые в металлургии	18
1. Топливо	18
2. Огнеупорные материалы (огнеупоры)	18
Глава II.	
Производство чугуна	19
1. Устройство современной доменной печи	19
2. Продукты доменной плавки	22
3. Прямое восстановление железа из руд	23
Глава III.	
Производство стали	24
1. Общие положения при производстве сталей в различных печах	24
2. Производство стали в кислородных конверторах	25
3. Производство стали в мартеновских печах	27
4. Плавка стали в электрических печах	32
5. Новые методы производства высококачественной стали	35
6. Разливка стали	36
7. Строение и качество стальных слитков	39

Глава IV.	
Производство цветных металлов	40
1. Производство меди	41
2. Производство алюминия	46
3. Производство магния	50
4. Производство титана	53

II

**РАЗДЕЛ
ОСНОВЫ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Глава I.	
Строение металлов и сплавов	56
1. Атомно-кристаллическое строение и процессы первичной и вторичной кристаллизации	57
2. Строение сплавов и основные типы диаграмм состояний	63

Глава II.

Механические свойства металлов и методы их определения

1. Процессы, происходящие при нагружении и деформировании металлов	73
2. Определение твердости	74
3. Испытания при статических нагрузках	75
4. Испытания при динамических нагрузках	77
5. Испытания при переменных нагрузках	78

Глава III.

Углеродистые стали и чугуны 79

1. Диаграмма состояния сплавов железа с углеродом	79
2. Строение и свойства углеродистых сталей	84
3. Строение и свойства чугунов	89

Глава IV.

Термическая обработка 95

1. Превращения при нагреве и охлаждении стали	96
2. Закалка стали	103
3. Отпуск стали	108
4. Отжиг стали	110
5. Оборудование, применяемое при термической обработке	112

Глава V.

Химико-термическая обработка стали 115

1. Процессы, происходящие при химико-термической обработке стали	115
2. Цементация стали	116
3. Азотирование стали	118
4. Цианирование и нитроцементация стали	119
5. Диффузионная металлизация	120

Глава VI.

Легированные стали и сплавы 121

1. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства стали	121
2. Маркировка легированных сталей	127
3. Легированная конструкционная сталь	128
4. Конструкционные легированные стали и сплавы с особыми физическими и химическими свойствами	132
5. Инструментальные легированные стали и сплавы	136

Глава VII.

Сплавы цветных металлов 140

1. Сплавы меди	141
2. Сплавы алюминия	144
3. Антифрикционные сплавы	147
4. Титан и его сплавы	148

Глава VIII.

Антикоррозионные покрытия	150
1. Виды коррозии	150
2. Покрытия, получаемые химической и электрохимической обработкой поверхности металлов	154
3. Металлические покрытия	155
4. Неметаллические покрытия	157

III

РАЗДЕЛ

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

A. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТЛИВКОВ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМАХ	161
--	-----

Глава I.

Модельно-опочная оснастка 161

1. Модели и стержневые ящики	162
2. Подмодельные плиты, опоки и другая оснастка	165

Глава II.

Формовочные и стержневые материалы и смеси 166

1. Исходные формовочные материалы	166
2. Формовочные смеси, их приготовление и свойства	168
3. Стержневые смеси, их приготовление и свойства	171
4. Специальные формовочные и стержневые смеси	174
5. Вспомогательные материалы	172

Глава III.

Изготовление песчаных стержней 172

1. Изготовление стержней	172
2. Сушка стержней и отделка	175

Глава IV.

Изготовление песчаных форм 176

1. Машинная формовка	177
2. Сушка форм	187
3. Сборка форм	187

Глава V.

Литейные свойства сплавов, применяемых для изготовления отливок 188

1. Жидкотекучесть	188
2. Усадка	189
3. Ликвация	190
4. Способность сплавов поглощать газы	190

Глава VI.

Литниковые системы 190

1. Типы литниковых систем	190
-------------------------------------	-----

	Стр.
2. Расчет литниковых систем	192
3. Особенности литниковых систем для различных сплавов	195
Глава VII.	
Получение отливок	196
1. Заливка форм	196
2. Охлаждение и выбивка форм	199
3. Обрубка и очистка отливок	201
4. Термическая обработка отливок	201
5. Основные виды дефектов отливок и причины их образования	201
6. Выявление дефектов отливок и способы их исправления	205
7. Достоинства, недостатки и область применения литья в песчаные формы	207
Глава VIII.	
Технологичность отливок и основные принципы их конструирования	208
Глава IX	
Разработка технологии изготовления отливок	210
Глава X.	
Чугунное литье	213
1. Изготовление отливок из разных видов чугуна	213
2. Плавка чугуна	214
Глава XI.	
Стальное литье	218
1. Изготовление отливок из углеродистых и легированных сталей	218
2. Плавка стали	220
Глава XII.	
Цветное литье	220
1. Производство отливок из медных сплавов	220
2. Производство отливок из антифрикционных сплавов	222
3. Производство отливок из алюминиевых сплавов	222
4. Производство отливок из магниевых сплавов	224
5. Производство отливок из титановых сплавов	225
Б. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТЛИВОК СПЕЦИАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ ЛИТЬЯ	225
Глава XIII.	
Литье по выплавляемым моделям	225
Глава XIV.	
Литье в оболочковые формы	228
Глава XV.	
Литье в кокиль	231

	Стр.
Глава XVI.	
Литье на машинах под давлением	234
Глава XVII.	
Центробежное литье	241
IV	
РАЗДЕЛ	
ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	
Глава I.	
Основные понятия и способы обработки металлов давлением	246
1. Физические основы и понятия о пластической деформации	246
2. Основные способы обработки металлов давлением	248
3. Исходные заготовки для разных способов обработки металлов давлением	249
Глава II.	
Нагрев металла перед обработкой давлением	249
1. Назначение нагрева заготовок	249
2. Температурные интервалы обработки металлов давлением	250
3. Режим нагрева заготовок и охлаждения изделий	250
4. Нагревательные печи и электронагревательные устройства	251
5. Контроль температуры при обработке металлов давлением	257
Глава III.	
Прокатка металла	257
1. Сущность и теоретические основы процесса прокатки	257
2. Горячая и холодная прокатка	261
3. Устройство прокатного стана и калибровка вальцов	262
4. Классификация прокатных станов	264
5. Прокатка заготовок	267
6. Прокатка сортовой стали	268
7. Прокатка листовой стали	268
8. Прокатка различных профилей	271
9. Производство гнутых профилей	273
10. Прокатка бесшовных и сварных труб	274
11. Прокатка цветных металлов и их сплавов	277
12. Беслитковая прокатка	279
Глава IV.	
Волочение металла	279
1. Сущность процесса волочения	279
2. Волоочильные станы и волокни	281
3. Особенности волочения труб и других полых профилей	283
4. Производство проволоки, тонкостенных труб и других изделий	284
5. Калибрование	285

	Стр.
Глава V.	
Прессование металла	285
1. Сущность процесса прессования	285
2. Прямой метод прессования	286
3. Обратный метод прессования	287
4. Особенности прессования полых изделий	287
5. Исходные заготовки, металлы и сплавы подвергаемые прессованию	288
6. Оборудование и инструмент для прессования	288
7. Изготавливаемые изделия	289

Глава VI.	
Свободная ковка металла	289
1. Сущность процесса свободнойковки	289
2. Основные операции свободнойковки, их характеристика и применяемый инструмент	290
3. Оборудование для свободнойковки	292
4. Исходные заготовки и изготавливаемые изделия	298

Глава VII.	
Объемная штамповка металла	298
1. Сущность процесса объемной штамповки	298
2. Виды объемной штамповки	299
3. Штампы	299
4. Составление чертежа коковки по чертежу детали	301
5. Штамповка на молотах	304
6. Штамповка на кривошипных ковочно-штамповочных прессах	304
7. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах	305
8. Другие виды горячей объемной штамповки	307
9. Холодная объемная штамповка	309
10. Изделия, изготавливаемые объемной штамповкой	311

Глава VIII.	
Листовая штамповка	312
1. Сущность процесса листовой штамповки	312
2. Основные операции листовой штамповки	312
3. Штампы	322
4. Оборудование для листовой штамповки	323
5. Штамповка взрывом	325
6. Материал для листовой штамповки	326
7. Область применения листовой штамповки и изготавливаемые изделия	326

V

РАЗДЕЛ

ОСНОВЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Глава I.	
Классификация и характеристика способов сварки	329

1. Сущность процесса сварки	329
2. Физические основы сварки	330
3. Классификация способов сварки	333
4. Основные виды сварных соединений и швов	336
5. Строение сварного шва	338

Глава II.

Сварка плавлением	340
------------------------------------	-----

Глава III.

Электрическая дуговая сварка	343
1. Виды электродуговой сварки	346
2. Электрическая сварочная дуга и ее свойства	347
3. Источники питания сварочной дуги	347
4. Сварочные материалы — электроды и флюсы	350
5. Ручная электродуговая сварка	353
6. Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка	358
7. Электрошлаковая сварка	364
8. Сварка в среде аргона и углекислого газа	366
9. Плазменная сварка и резка	368
10. Электроннолучевая сварка	370
11. Лазерная сварка	374
12. Фотонная (световая) сварка	376

Глава IV.

Газовая сварка и резка металлов	377
1. Сущность процесса газовой сварки	377
2. Газы, применяемые при сварке	377
3. Аппаратура для газовой сварки	380
4. Сварочное ацетилено-кислородное пламя	382
5. Огневая резка	384

Глава V.

Сварка давлением (сварка без оплавления)	388
1. Общие сведения о сварке давлением	388
2. Контактная электрическая сварка	389
3. Стыковая сварка	390
4. Точечная сварка	392
5. Шовная сварка	394
6. Магнитноимпульсная и конденсаторная сварка	396
7. Оборудование для контактной сварки	398
8. Газопрессовая сварка	400
9. Термитная сварка	402

Глава VI.

Новые способы сварки давлением без оплавления	404
1. Диффузионная сварка в вакууме	404
2. Холодная сварка	409
3. Сварка трением	411
4. Ультразвуковая сварка	412

5. Сварка взрывом	414
6. Индукционная сварка	416
Глава VII.	
Наплавка	417
Глава VIII	
Особенности сварки различных металлов и сплавов	421
1. Понятие о свариваемости металлов и сплавов	421
2. Сварка углеродистых и легированных конструкционных сталей	426
3. Сварка высокохромистых сталей	427
4. Сварка аустенитных хромоникелевых сталей	428
5. Сварка чугуна	429
6. Сварка меди и ее сплавов	431
7. Сварка алюминия и его сплавов	434
8. Сварка активных металлов	435
9. Контроль качества сварных соединений	437
10. Техника безопасности	441

VI

РАЗДЕЛ

ПАЙКА И КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ, СПЛАВОВ И НЕМЕТАЛЛОВ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Глава I.	
Пайка металлов и сплавов	445
1. Припой	445
2. Флюсы	447
3. Подготовка деталей к пайке	450
4. Способы пайки	453
5. Обработка деталей после пайки	461
6. Некоторые особенности конструирования узлов с паяными соединениями	461
Глава II.	
Клеевые соединения	464
1. Технологический процесс склеивания	466
2. Техника безопасности и охрана труда при работе с клеями	467

VII.

РАЗДЕЛ

ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Глава I.	
Основные сведения о процессе резания металлов	470
1. Основные понятия и определения	470

2. Основные элементы режущей части инструмента	473
3. Режимы резания и размеры срезаемого слоя	476
Глава II.	
Материалы для изготовления режущего инструмента	479
1. Малолегированные инструментальные стали	480
2. Быстрорежущие стали	480
3. Металлокерамические твердые сплавы	482
4. Минералокерамические твердые сплавы	485
5. Абразивные материалы	485
6. Алмазы и алмазные резцы	486
Глава III.	
Физические основы процесса резания	488
1. Явления пластической деформации при резании металлов	488
2. Наростообразование при резании металлов	490
3. Тепловые явления при резании металлов	493
4. Охлаждение и смазка при резании металлов	494
5. Силы резания и мощность при точении	496
6. Износ и стойкость режущих инструментов	498
7. Выбор режимов резания и пути повышения производительности труда	500
Глава IV.	
Взаимозаменяемость, номинальные и предельные размеры деталей	505
1. Допуски и припуски	506
2. Система вала и система отверстия	507
3. Посадки	508
4. Точность изготовления и чистота поверхности деталей	509
Глава V.	
Общие сведения о металлорежущих станках	513
1. Классификация и основные механизмы металлорежущих станков	513
2. Типы приводов	518
3. Кинематическая схема станка	520
4. Передачи, применяемые в станках	523
5. Основные механизмы станков	525
Глава VI.	
Обработка на станках токарной группы	533
1. Токарно-винторезный станок модели 16К20	534
2. Токарные резцы	540
3. Токарно-лобовые и карусельные станки	544
4. Токарно-револьверные станки	546
5. Многорезцовые токарные станки	550
6. Токарные автоматы и полуавтоматы	552
7. Работы, выполняемые на станках токарной группы	556

	Стр.
Глава VII.	
Обработка заготовок на сверлильных и расточных станках	561
1. Виды работ, режущие инструменты	562
2. Сверлильные станки	567
3. Горизонтально-расточные станки	570
4. Наладка станков	573
Глава VIII.	
Обработка на фрезерных станках	574
1. Сущность процесса фрезерования	574
2. Типы фрез	576
3. Фрезерные станки	578
4. Виды фрезерных работ	582
5. Фрезерование с использованием делительных головок	583
Глава IX.	
Зубонарезание	585
1. Методы изготовления профиля зубьев колес	585
2. Зубофрезерные станки	587
3. Зубодолбежные станки	590
Глава X.	
Обработка заготовок на строгальных и долбежных станках	593
1. Процесс резания при строгании и долбежнии	593
2. Устройство строгальных и долбежных станков	594
Глава XI.	
Обработка на протяжных станках	597
1. Процесс резания при протягивании	597
2. Устройство протяжных станков	599
Глава XII.	
Обработка на шлифовальных станках	600
1. Особенности процесса резания при шлифовании	601
2. Виды шлифования, режим резания	604
3. Алмазное шлифование	606
4. Шлифовальные станки	608
Глава XIII.	
Отделочные и доводочные виды обработки	611
1. Тонкое точение и растачивание	611
2. Тонкое шлифование поверхностей	612
3. Хонингование	613
4. Суперфинишрование	615
5. Притирка поверхностей	616
6. Лепточное шлифование и полирование	617
7. Отделочные методы обработки без снятия стружки	619

	Стр.
Глава XIV.	
Основы автоматизации металлорежущих станков	624
1. Основные направления автоматизации	624
2. Механизация и автоматизация универсальных станков	626
3. Общие принципы и средства числового программного управления	630
4. Токарный станок модели 1К62М с числовым программным управлением	639
5. Техника безопасности при обработке металлов резанием	643

VIII.

РАЗДЕЛ

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Глава I.	
Электроэрозионные методы обработки металлов и сплавов	646
1. Электроискровая обработка	646
2. Электроконтактная обработка	648
3. Анодно-механическая обработка	650
Глава II.	
Химические и электрохимические методы обработки металлов и сплавов	651
1. Сущность методов	651
2. Химическая обработка металлов	652
3. Химико-механическая обработка	653
4. Электрохимическая обработка	654
5. Электрохимико-механическая обработка	655
Глава III.	
Ультразвуковые методы обработки металлов и неметаллических материалов	657
1. Сущность метода	657
2. Процесс обработки с использованием ультразвука	659
Глава IV.	
Лучевые методы обработки материалов	660
1. Сущность метода	660
2. Метод обработки световым лучом	661
3. Техника безопасности при работе на электрофизических и электрохимических установках	661

IX.

РАЗДЕЛ

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Глава I.	
Пластические массы и структура полимеров	664
Структура высокополимеров	664
Глава II.	
Изготовление деталей из пластмасс	665
1. Использование пластмасс в качестве конструкционных и электротехнических материалов	665
2. Переработка пластмасс в изделия	667
3. Сварка и склеивание пластмасс	668
4. Обработка пластмасс резанием	674
5. Технологические основы конструирования пластмассовых деталей	681
Глава III.	
Технология производства резиновых технических изделий	683
1. Состав и свойства резины	684
2. Материалы и полуфабрикаты из древесины	685
Список литературы	688

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для успешного решения многих практических вопросов, связанных с научно-техническим прогрессом в различных областях техники, молодым инженерам-механикам крайне необходимо иметь сведения о современных прогрессивных способах получения и обработки металлов, новых металлических и неметаллических материалах, их свойствах и областях рационального применения.

Кем бы ни работал инженер-механик, производственником, конструктором, проектантом, исследователем, он должен хорошо знать основы технологии, без чего не могут создаваться надежные и экономичные конструкции машин, приборов и механизмов.

Учебное пособие написано в соответствии с программой курса «Технология конструкционных материалов» для механических специальностей немашиностроительных вузов. В нем предусмотрены разделы по производству черных и цветных металлов, основам металловедения и термической обработки, литейному производству, обработке металлов давлением, основам сварочного производства, пайке металлов и сплавов, обработке металлов резанием, электрофизическим и электрохимическим методам формообразования поверхностей, производству машиностроительных деталей из неметаллических материалов.

В нем нашли отражение все последние достижения в соответствующих областях науки и техники. Приведены необходимые сведения о структуре и свойствах сплавов, кристаллизации, пластической деформации, термической обработке и т. п., которые являются теоретической базой для изложения последующих разделов: основ литейного производства, горячей и холодной обработки давлением, сварки, пайки, обработки резанием.

Рассмотрены новые способы выплавки сталей и других сплавов, специальные способы литья, прогрессивные технологии прокатки, электрофизические и электрохимические методы обработки материалов, диффузионной, лазерной электроннолучевой сварки и т. п.

Освещены процессы получения точности заготовок и автоматизация процессов механической обработки.

Достаточно подробно рассмотрены свойства пластмасс, резины, металлокерамических и керамических материалов.

В разделе «Обработка металлов резанием» исключена глава «Слесарная обработка металлов», так как с основными операциями слесарной обработки и применяемыми конструкциями студенты очного обучения подробно знакомятся на практике, а студенты заочного и вечернего обучения — во время работы на своих предприятиях.

Учебное пособие написано коллективом авторов: Разделы I, III, IV — А. М. Осокиным, II — А. П. Шишковой, V—IX — П. Ф. Казаковым.

Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам — коллективу кафедры технологии металлов Московского автомобильно-дорожного института и ее руководителю заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, докт. техн. наук проф. П. П. Бергу, и заслуженному деятелю науки и техники РСФСР докт. техн. наук проф. Д. П. Иванову за весьма ценные указания по рукописи.

Коллектив авторов будет весьма признателен читателям за все замечания и предложения по улучшению данного учебного пособия.

I ОСНОВЫ РАЗДЕЛ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Общие сведения

В разделе «Основы производства черных и цветных металлов» кратко, поскольку указанный материал предусмотрен школьной программой, рассматриваются основные технологические процессы, оборудование и материалы, применяемые для производства черных (чугуна и стали) и цветных (меди, алюминия, магния и титана) металлов. Производство черных и цветных металлов является основой развития тяжелой индустрии, от которой зависит рост различных отраслей промышленности, увеличение выпуска всех видов продукции и удовлетворение растущих потребностей трудящихся.

Извлечение металлов из руд представляет собой процесс восстановления их из химических соединений и отделения от пустой породы (глинозема, кремнезема, известняка и других примесей). Существует несколько способов извлечения металлов из руд.

1. Пирометаллургический, наиболее распространенный, основанный на плавлении руд и извлечении из них металлов в жидком состоянии. Применяется для получения чугуна, меди и других металлов.

2. Гидрометаллургический, основанный на выщелачивании металлов из руд с помощью растворителей и последующем осаждении их химическим путем или электролизом. Применяется для извлечения меди из окисленных и бедных руд и при добыче драгоценных металлов.

3. Электрометаллургический, представляющий собой плавление руд или металла в электрических печах или электролиз металлов из растворов солей. Электролиз применяется главным образом для получения алюминия, магния и чистой меди. Плавка руд в электропечах применяется в странах с дешевой электроэнергией.

4. Химико-металлургический, предназначенный для восстановления титана, ванадия, циркония, ниобия и других редких элементов из окислов.

В современной металлургии большое значение уделяется подготовке исходных материалов к плавке. Например, железные руды, как правило, подвергают обогащению. Для плавки в доменных печах применяют вместо обычной руды агломерат или окатыши, содержащие большой процент железа и минимальное количество пустой породы и т. д.

Глава I

ТОПЛИВО И ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МЕТАЛЛУРГИИ

1. ТОПЛИВО

В металлургическом производстве топливо сжигают в плавильных и нагревательных печах и устройствах. Все виды используемого топлива представляют собой вещества органического происхождения. В их состав входят углерод, водород, кислород, азот и сера, а также минеральные примеси, образующие золу топлива, и влага. Наибольшее применение имеют кокс, мазут и природный газ.

2. ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (ОГНЕУПОРЫ)

При сооружении печей и других тепловых устройств применяют огнеупоры, представляющие собой материалы, способные противостоять действию высоких температур, а также физическим и физико-химическим процессам, протекающим в указанных тепловых агрегатах.

Огнеупорные материалы применяют в виде кирпича, различных фасонных изделий и порошков.

По химическому составу огнеупорные материалы разделяются на кислые, полукислые, основные и нейтральные. К кислым огнеупорам относится дишасовый кирпич $\geq 93\%$ SiO_2 и $\leq 1,5\%$ Al_2O_3 , кварцитовый и кварцевый песок. Температура плавления дишасового кирпича $1730\text{—}1830^\circ\text{C}$. Его применяют для кладки сталеплавильных печей, когда требуется кислая футеровка. Порошки используют при ремонте плавильных печей и для наварки подов.

К основным огнеупорам относятся магнезитовые кирпичи и порошки, содержащие: $91\text{—}94\%$ MgO ; $1,5\text{—}2,8\%$ SiO_2 ; $2\text{—}3\%$ Fe_2O_3 ; $1,0\text{—}2,0\%$ CaO ; $0,5\text{—}1,8\%$ Al_2O_3 , а также доломитовые огнеупоры. Температура плавления магнезитового кирпича $2000\text{—}2200^\circ\text{C}$.

К нейтральным огнеупорам относится хромистый кирпич, различные шамотные и углеродистые изделия. Наиболее дешевый и распространенный шамотный кирпич содержит $50\text{—}60\%$ SiO_2 , от 30 до 40% Al_2O_3 и $1,5\text{—}3\%$ Fe_2O_3 . Его огнеупорность достигает 1790°C .

Глава II

ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА

Чугун получают в доменных печах из руд путем восстановления железа и насыщения его углеродом и другими элементами. Основная масса чугуна (более 80%) используется для выплавки стали. Основными исходными материалами для производства чугуна в доменной печи являются красные, магнитные, бурые и шпатовые железняки, марганцевые руды, топливо и флюс.

1. УСТРОЙСТВО СОВРЕМЕННОЙ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Доменная печь представляет собой вертикальную плавильную печь шахтного типа. Свое название доменные печи получили от ранее применявшихся в России (VIII—IX век) шахтных печей, которые назывались домницами.

Современная доменная печь является мощным и высокопроизводительным агрегатом с полезным объемом печи $3000\text{—}5000\text{ м}^3$ и производительностью более 5000 т чугуна в сутки. Полезная высота таких печей достигает 30 м и более. Доменная печь (рис. 1) снаружи заключена в стальной кожух, а внутри футерована огнеупорным (шамотным) кирпичом. Внутреннее очертание печи называется ее профилем. При этом следует различать колошник I, шахту II, распар III, заплечики IV и горн V.

¹ Полезным объемом доменной печи называется объем, занимаемый шихтовыми материалами между лещастью горна и нижней частью засынного копуса, когда он опущен.

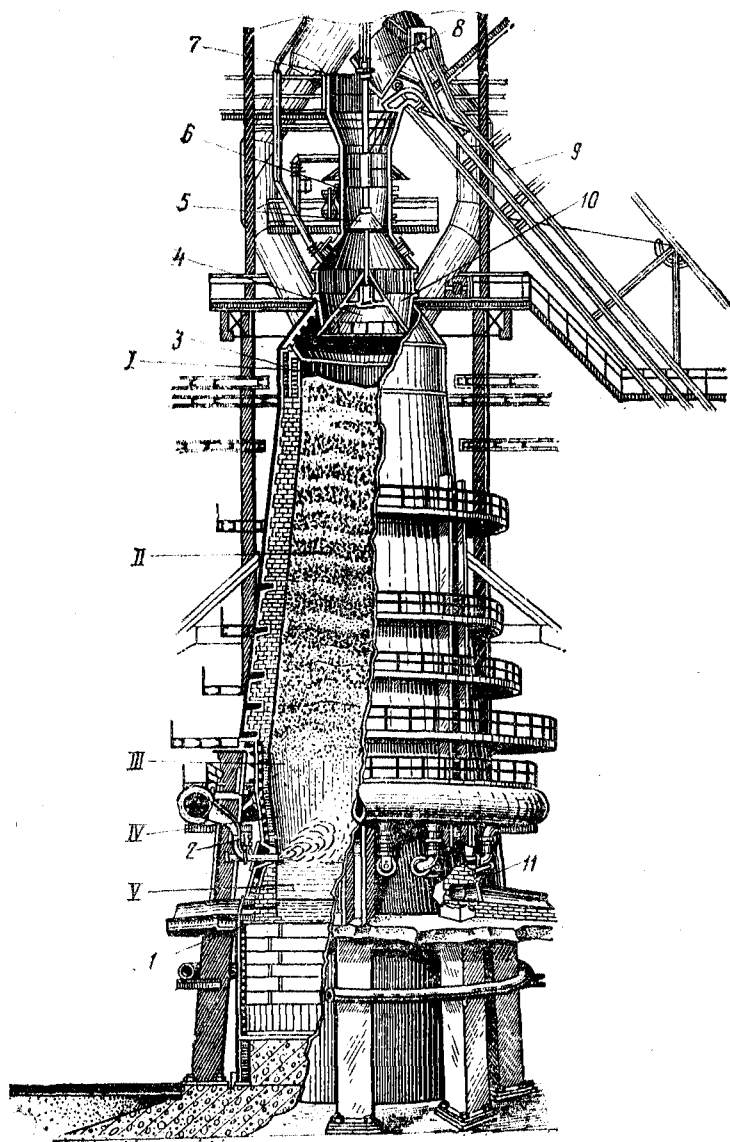


Рис. 1. Современная доменная печь

Колошник оборудован литыми стальными сегментами 3, защищающими огнеупорную футеровку от разрушения при ударах загружаемой в печь шихты.

В верхней части печи имеется загрузочное устройство, состоящее из приемной воронки 7, малого конуса 5, распределительного устройства 6 и большого конуса 4 с воронкой 10. Сырые материалы (шихта) подаются на колошник по наклонному мосту 9 двумя скипами 8. Из скипа материалы сначала попадают на малый конус, который для обеспечения более равномерной загрузки шихты в большой конус поворачивается вокруг оси штанги. Малый и большой конусы опускаются не одновременно, чтобы предотвратить выброс доменных газов из печи в атмосферу. В большой конус через малый конус засыпают несколько скипов шихтовых материалов, образующих так называемую колошу. В процессе опускания большого конуса колоша падает в печь. Рудную часть шихты и кокс загружают отдельно, поэтому в печи образуется два слоя — кокса и рудной части.

В нижней части печи находятся фурменные устройства 2, через которые вдувают в печь нагретый воздух или воздух, обогащенный кислородом, а также иногда газообразное, жидкое или пылевидное топливо для экономии кокса. Чугун и шлак непрерывно стекают вниз и периодически выпускаются через чугунную летку 1 и шлаковую летку 11.

Процесс доменной плавки непрерывный, а загрузка шихтовых материалов и выпуск чугуна и плака производятся периодически по установленному режиму. Исходные материалы поступают в доменную печь сверху, а в нижнюю часть печи через фурмы подаются нагретый воздух или воздух, обогащенный кислородом, а также газообразное топливо. Образующиеся при сгорании топлива газы поднимаются навстречу опускающимся шихтовым материалам, нагревают их, восстанавливают и плавят. Таким образом, печь работает по принципу противотока, что, естественно, позволяет более полно использовать тепло.

При нормальной работе доменной печи во всех ее зонах устанавливается определенная температура и в них происходят различные физико-химические процессы: горение топлива, удаление влаги, разложение известняка, восстановление железа и других элементов, плавле-

ние и науглероживание железа, образование чугуна и шлака.

Опустившись до уровня фурм, кокс сгорает в струе подогретого до 1100—1300°С воздуха или воздуха, обогащенного кислородом (до 30—35%), подаваемого в печь через фурмы под давлением 150—200 кН/м² (1,5—2 ат). Процесс горения топлива идет с большим выделением тепла.

2. ПРОДУКТЫ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Продуктами доменного производства являются чугун, шлак и доменный газ.

Чугун выплавляют в зависимости от назначения трех сортов: передельный, литейный и специальный (ферросплавы). Передельный чугун идет на переработку в сталь, производство его составляет более 80%.

Литейный чугун предназначается для получения всевозможных фасонных отливок. Его выплавляется около 16% от всего производства чугуна. Он содержит повышенное количество кремния, улучшающего литейные свойства чугуна.

Доменные ферросплавы применяют при производстве стали (как присадки и для раскисления) в сталеплавильных печах и при производстве чугуна в вагранках. Их выплавляют примерно 4% от всего производства чугуна. Ферросплавы отличаются от передельных и литейных чугунов повышенным содержанием марганца и кремния. К ним относятся ферромарганец доменный, содержащий ≥ 70 —75% Mn и 2% Si, зеркальный чугун (с зеркальным блеском в изломе), содержащий 10—25% Mn и до 2% Si, ферросилиций доменный, содержащий ≥ 9 —13% Si и 3% Mn.

Образующиеся при плавке чугуна доменные шлаки обычно подвергают грануляции водой для получения мелкозернистой массы. Обработанные указанным способом шлаки используют для изготовления цемента, кирпичей, шлакоблоков и других строительных материалов.

Доменный газ после очистки от пыли используют как газообразное топливо в воздухонагревателях для отопления различных печей, нагрева ковшей и пр.

Доменная печь работает непрерывно 5—6 лет и более с момента пуска до очередного капитального ремонта.

Остановка печи производится главным образом по причине выгорания огнеупорной кладки. Для контроля толщины кладки используют радиоактивный изотоп кобальта ⁶⁰Co. При постройке или ремонте доменной печи в наиболее уязвимые части кладки заделывают указанный изотоп кобальта. В процессе эксплуатации печи периодически к местам, где замурован ⁶⁰Co, подносят счетчик Гейгера, с помощью которого можно обнаружить γ -излучение. Когда кладка выгорит до определенной толщины, ⁶⁰Co расплавится в чугуне и уйдет вместе с ним из печи; в этом случае излучения не будет. Регистрируемое при этом ослабление или полное исчезновение γ -излучения позволяет установить срок остановки печи на капитальный ремонт.

3. ПРЯМОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА ИЗ РУД

Прямым восстановлением можно получать непосредственно из руды металлическое железо в виде губки, крицы или жидкого металла. Этот процесс получения железа называется висодоменным.

Губчатое железо получают с применением твердых (уголь или коксик) и газообразных (смесь Co и H₂) восстановителей. Для этого процесса применяют трубчатые, шахтные и другие печи, в которых поддерживается температура 950—1000°С. При этой температуре восстановленное железо и пустая порода не плавятся. Полученный продукт дробится и затем губчатое железо отделяется от пустой породы магнитной сепарацией.

Губчатое железо получается в виде кусочков, окатышей или порошков и содержит более 90% Fe. Оно используется главным образом при производстве стали.

Кричное железо получают во вращающихся трубчатых печах. В печь загружают шихту, состоящую из смеси руды, твердого топлива и известняка. Эти материалы движутся навстречу потоку горячих газов, образующихся в противоположном конце печи от сгорания пылеугольного или другого топлива. При температуре 1250—1300°С происходит выплавление окиси железа и частично пустой породы из железной губки и последняя сваривается в крицу (корольки).

Полученную массу, содержащую корольки металла, после охлаждения дробят, подвергают грохочению и

магнитной сепарации для отделения крицы от шлака. Крица содержит 90—95% Fe; 0,5—1,5% C; 0,2—1,0% S; 0,2—1,0% P и шлак.

В настоящее время как у нас, так и за границей, разработаны и совершенствуются процессы получения жидкой стали непосредственно из руд, минуя доменную плавку. В этих процессах применяются более высокие температуры, чем при производстве губчатого и кричного железа, в результате чего железо и шлак доводятся до жидкого состояния. При этих процессах используются несколько различных печей. Одни из них предназначены для восстановления железа (например, трубчатые печи), другие (например, дуговые электропечи) — для плавления восстановленной шихты и доводки стали до требуемого состава.

Глава III

ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ

Сталь отличается от чугуна более низким содержанием углерода (до 2%). Главным исходным материалом для получения стали является чугун. Процесс получения стали основан на удалении из чугуна путем окисления избытка углерода, марганца, кремния и вредных примесей (фосфора и серы). При этом углерод соединяется с кислородом, образуется окись углерода (CO), которая сгорает и улетучивается. Кремний, марганец и фосфор образуют окислы SiO_2 , MnO и P_2O_5 , которые всплывают, образуют шлак и удаляются. Сера переходит в шлак в виде соединения CaS за счет добавки извести. Для производства стали применяют три типа плавильных агрегатов: конверторы, мартеновские печи и электрические печи. Несмотря на большое различие в конструкциях сталеплавильных агрегатов, имеется много общих положений в процессах получения стали.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ ПЕЧАХ

Печи могут иметь кислую или основную футеровку. При плавке применяется кислородное дутье и жидкий чугун.

В конце плавки сталь обязательно раскисляют ферромарганцем, ферросилицием и техническим алюминием. При этом от закиси железа отнимается кислород, происходит восстановление железа. Если сталь не раскислить, то она будет краснотомкой — при прокатке и ковке в горячем состоянии будут образовываться трещины.

По степени раскисленности можно получать спокойные, полуспокойные и кипящие стали. При полном раскислении получается спокойная сталь, при неполном раскислении — кипящая сталь. Во время разливки кипящей стали выделяется CO — сталь кипит в изложнице. Полуспокойная сталь занимает промежуточное положение между спокойной и кипящей сталями.

Готовую сталь выливают из печей в подогретые ковши, а затем ее разливают для получения слитков в металлургические изложницы или непрерывным способом.

2. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТОРАХ

Еще совсем недавно применялись два процесса плавки стали в конверторах: бессемеровский и томасовский. Несмотря на некоторые различия в конструкциях конверторов и процессах, сущность этих способов получения стали была одна и та же и заключалась в том, что через жидкий чугун продувался воздух, в результате чего происходило окисление примесей. В настоящее время эти два способа (бессемеровский и томасовский) не применяются, так как заменены более прогрессивным способом — плавкой стали в кислородных конверторах.

Кислородно-конверторный процесс заключается в продувке жидкого чугуна в конверторе с основной футеровкой кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму, опущенную через горловину (рис. 2). В настоящее время в кислородных конверторах производят около 30% всей выплавляемой стали.

Такое быстрое внедрение и развитие кислородно-конверторного процесса объясняется тем, что наряду с очень высокой производительностью здесь меньше капитальные затраты и расходы по переделу по сравнению с другими типами сталеплавильных печей.

Применение для дутья чистого кислорода позволяет получать в кислородных конверторах сталь с содержа-

нием азота не более, чем в мартеновской стали, и примерно такого же качества.

Кислородно-конверторный процесс позволяет применять конверторы большей емкости. В настоящее время уже работают конверторы емкостью 300 т.

Кислородный конвертор имеет грушевидную форму; его сварной кожух, изготовленный из стальных листов, состоит из трех частей: верхней с формой усеченного конуса, заканчивающейся горловиной, средней цилиндрической и нижней суживающейся со сферическим дном. Внутренняя часть стального кожуха имеет огнеупорную футеровку.

С помощью цапф, присоединяемых к опорному кольцу или кожуху, конвертор опирается на подшипники качения, которые устанавливают в опорных станинах, и может наклоняться.

В верхней (шлемной) части конвертора имеется летка, предназначенная для выпуска стали.

Рис. 2. Схема кислородного конвертора:

1 — жидкий чугун; 2 — кислородная фурма; 3 — летка; 4 — сопло; 5 — горловина; 6 — футеровка; 7 — стальной кожух

Водоохлаждаемая фурма, предназначенная для подачи кислорода в конвертор, состоит из трех стальных цельнотянутых труб, концентрических входящих одна в другую. В нижней части фурма имеет медный наконечник (сопло), который крепится к наружной и внутренней трубе сваркой. Фурма устанавливается вертикально, причем ее высоту над ванной можно изменять по ходу плавки с помощью специального механизма, заблокированного с механизмом вращения конвертора. Конвертор нельзя повернуть, пока не будет удалена фурма.

В качестве исходных материалов при выплавке стали в кислородном конверторе применяют жидкий чугун, скрап, железную руду, известь, плавиковый шпат, прокатную окалину. Содержание серы в чугуне не должно превышать 0,08%, так как десульфурация при кислородном процессе плавки получает ограниченное развитие.

В процессе продувки чугуна кислородом окисляются примеси (Si, Mn и др.) и образуется шлак. Наиболее интенсивное окисление примесей происходит в зоне контакта кислородной струи с металлом, где возникают очень высокие температуры, достигающие 2500°С. Такая высокая температура создается в результате выделения значительного количества тепла при окислении примесей чугуна в небольшом объеме реакционной зоны. Шлак образуется за счет извести и окислов SiO₂, MnO и FeO.

При продувке металла кислородом сверху окисление всех примесей чугуна протекает одновременно, так как в этом случае обеспечивается высокая степень взаимодействия кремния, марганца и углерода с кислородом. Окисление кремния и марганца заканчивается в первые 5—8 мин, а затем в оставшееся время продувки окисляется углерод и удаляются в шлак фосфор и сера.

Момент окончания продувки определяют по результатам экспресс-анализа пробы стали. Момент взятия пробы определяют по количеству израсходованного кислорода, по времени продувки и по внешним признакам (по виду пламени над горловиной). Для отбора пробы продувку прекращают, фурму удаляют и конвертор наклоняют. В этот же момент замеряют температуру металла.

Раскислитель обычно вводят в ковш на струю металла. В последнее время находят все большее применение выплавка легированных сталей в кислородных конверторах, и в этом случае легирующие элементы также вводят в ковш. Время продувки в кислородных конверторах емкостью 300 т составляет примерно 45 мин.

Коэффициент использования тепла в кислородном конверторе достигает почти 70%, что значительно выше, чем в других сталеплавильных печах. При плавке стали в конверторах не требуется топливо, так как процесс идет за счет тепла экзотермических реакций окисления углерода, кремния, марганца и др.

3. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В МАРТЕНОВСКИХ ПЕЧАХ

Передача тепла к металлу в этих печах происходит в основном лучеиспусканием (около 90% от всего передаваемого тепла) и лишь 5—10% конвекцией. Большинство

печей большой емкости в настоящее время отапливают природным газом с добавкой мазута.

Эти печи имеют регенераторы, которые служат для подогрева воздуха и газа, что позволяет повысить температуру факела до 1800°C .

Емкость мартеновских печей достигает 900 т. Около 60% всей стали выплавляется в мартеновских печах. Устройство и принцип работы показаны на рис. 3.

Рабочее плавильное пространство печи сверху ограничено сводом 1, снизу — подиной 2, с боковых сторон — передней и задней стенками и с торцов — «головками» 3.

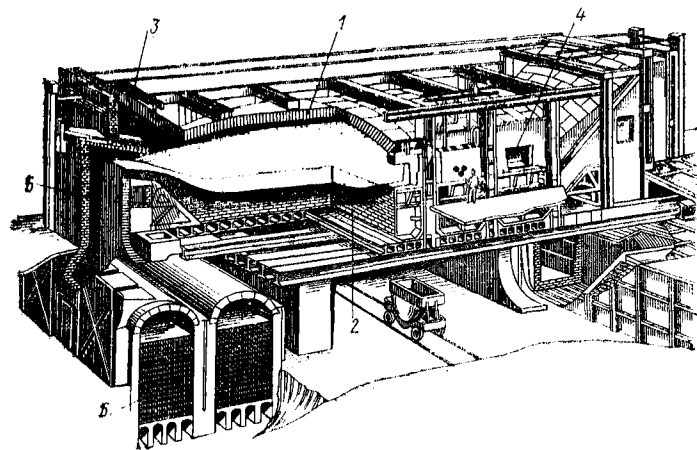


Рис. 3. Схема мартеновской печи

Подина имеет форму продолговатой расширяющейся кверху чаши (ванны). Шихтовые материалы загружают на под через завалочные окна 4 в передней стенке печи. В нижней части задней стенки имеются отверстия для выпуска шлака и готовой стали, заделанные огнеупорной пробкой, которую при выпуске пробивают. В головках 3, расположенных симметрично с обеих сторон печи, имеются каналы 5, через которые поступают газ и воздух и удаляются продукты горения. В нижней части головки соединяются с регенераторами 6, предназначенными для подогрева газа и воздуха. В момент, когда в левой головке происходит смешивание топлива с воздухом и поступление продуктов горения в плавильное пространство, через

правую головку и примыкающие к ней каналы из печи удаляются продукты горения, нагретые до $1500\text{--}1600^{\circ}\text{C}$. Отходящие газы после очистки от твердых частиц в шлаковиках, расположенных на пути их следования, поступают в регенераторы. Регенератор представляет собой камеру, в которой имеется огнеупорная насадка с вертикальными каналами. В нижней части регенераторы соединены с каналами, по которым поступает газ и воздух и отходят продукты горения. Для регулирования направления движения газа и воздуха в печь, а продуктов горения — к дымовой трубе в каналах установлены перекидные клапаны.

Насадки нагреваются отходящими из печи газами до $1250\text{--}1300^{\circ}\text{C}$, а проходящие через них холодный воздух и газ — до $1100\text{--}1200^{\circ}\text{C}$. Когда насадка правых регенераторов охлаждается ниже предусмотренной температуры, производится автоматическое переключение перекидных клапанов, после чего газ и воздух начинают поступать в печь через левые регенераторы и головку, а через правые регенераторы удаляются продукты горения.

Технология плавки стали в мартеновских печах

В зависимости от футеровки печи применяются два процесса плавки: основной, при котором подина и стенки печи изготовлены из основных огнеупорных материалов и в шлаке преобладают основные окислы, и кислый, при котором огнеупорная кладка печи изготовлена из кислых огнеупорных материалов и в шлаке преобладают кислотные окислы. В зависимости от состава шихты различают три процесса плавки стали в мартеновской печи: скрап-процесс, скрап-рудный процесс и рудный. Скрап-процесс обычно применяют в цехах машиностроительных и металлургических заводов, в составе которых нет доменных печей и где много металлолома (скрапа). При этом процессе применяется твердая шихта, состоящая из 65—75% стального лома и 25—35% передельного чугуна.

Скрап-рудный процесс — процесс, при котором в состав твердой части шихты входят скрап и железная руда, а основной массой является жидкий чугун. По скрап-рудному процессу работают на металлургических заводах, имеющих доменные печи. В этом случае в шихту входит 30—40% скрапа (стального и чугунного лома), 60—70%

жидкого чугуна; кроме того, добавляют 15—20% железной руды от массы металла и 5—10% извести. Так как чугун почти всегда содержит повышенное количество фосфора, скрап-рудный процесс является основным. Окисление примесей в этом процессе происходит главным образом за счет вводимой в шихту руды.

Когда для выплавки стали применяют только жидкий чугун (без скрапа) и железную руду, то такой процесс называется рудным.

Плавка стали в основных мартеновских печах

Основную массу производимой у нас в стране стали выплавляют в основных мартеновских печах.

Процесс плавки состоит из следующих стадий: 1) заправка печи (очистка пода и откосов ванны от шлака и устранение замеченных дефектов); 2) завалка шихты (сначала загружается твердая часть шихты — стальной скрап, железная руда и известняк, а после их прогревания жидкий чугун); 3) плавление; 4) кипение металла, раскисление и легирование (в этой стадии плавки происходит окисление примесей чугуна, причем окисление углерода сопровождается выделением большого количества газов, вызывающих кипение металла). При кипении, кроме выгорания углерода, металл освобождается от неметаллических включений и газов, а его температура повышается. Затем следует раскисление и, если нужно, легирование стали; 5) выпуск готовой стали в ковши.

Выплавка стали в основных мартеновских печах скрап-процессом состоит из тех же периодов, что и при скрап-рудном процессе. Процессы окисления примесей и удаления фосфора и серы в шлак сходны с аналогичными процессами, происходящими при плавке в конверторе.

Плавка стали в кислых мартеновских печах

Процесс получения стали в кислых мартеновских печах отличается от плавки в основных печах тем, что невозможно удалить фосфор и серу. Исходя из этого, особое внимание обращается на то, чтобы входящие в состав шихты отходы производства — лом и чушковой чугун — не содержали более 0,03% P и 0,02% S. Из тех же соображений руда добавляется в небольшом количестве —

около 3% от массы загружаемого металла. Окисление примесей в кислых печах происходит главным образом за счет кислорода, содержащегося в печных газах. По закону действующих масс вначале окисляется железо, а затем образующаяся закись железа (FeO) окисляет примеси Si, Mn и C и др., находящиеся в жидком металле.

Кислый мартеновский процесс состоит из тех же стадий, что и основной. Кислая мартеновская сталь более высокого качества, чем основная. Она идет на изготовление подшипников, коленчатых валов, роторов турбин и других изделий.

Интенсификация мартеновского процесса

Для интенсификации мартеновского процесса широкое применение получил кислород. Его вводят через фурмы в головки печи, обогащая до 30% воздух, или непосредственно в ванну жидкого металла с помощью водоохлаждаемых фурм, проходящих сквозь свод печи. Применение кислорода ускоряет процесс окисления примесей в металле, повышает его температуру, увеличивает производительность печи до 20% и снижает расход топлива на 10—15%; при этом уменьшается содержание в стали азота.

Кроме того, повышению производительности мартеновских печей способствует использование природного газа, применение печей большой емкости, правильная организация производства, комплексная механизация и автоматизация процессов загрузки, плавки и пр.

В последние годы получили применение сталеплавильные печи новой конструкции — двухванные, имеющие более высокие технико-экономические показатели.

Технико-экономические показатели работы мартеновских печей

Основными показателями работы мартеновской печи являются суточный съем стали в тоннах с 1 м² площади пода печи и расход условного топлива (теплота сгорания которого принята равной 7000 ккал/кг) на 1 т выплавленной стали (1 кг топлива/1 т стали). Величина съема стали в среднем составляет около 9 т/м², а сталевары-скоростники добиваются съема до 12 т/м² и более. С применением кислорода съем возрастает почти вдвое. Расход условного топлива составляет 130—250 кг/т.

4. ПЛАВКА СТАЛИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

Для плавки сталей применяют дуговые и индукционные электропечи. Дуговые электропечи имеют большее распространение, чем индукционные, так как стоимость выплавляемых в них сталей ниже.

В СССР доля электростали составляет около 10% от общего производства стали.

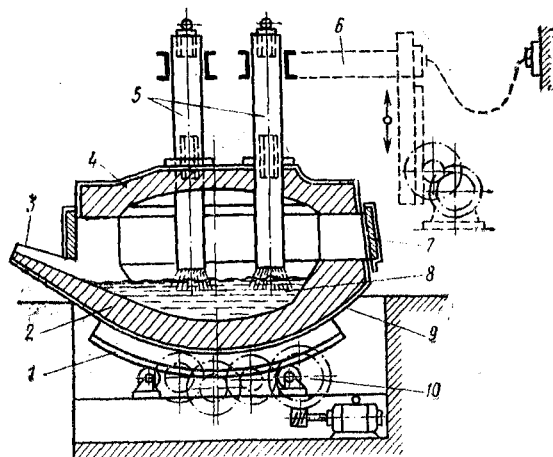


Рис. 4. Схема дуговой электропечи для плавки стали

Электросталеплавильные печи работают на трехфазном переменном токе. Постоянным током пользоваться нельзя, так как он вызывает явления электролиза в жидкой ванне.

Печь (рис. 4) состоит из стального кожуха 9 со сферическим днищем, выложенного внутри огнеупорным кирпичом 2. Сверху рабочее пространство печи перекрыто съемным сводом 4 с тремя отверстиями, через которые пропущены графитовые электроды 5. Электроды закреплены в специальных водоохлаждаемых электроподдержателях и при помощи специального механизма 6 могут подниматься и опускаться благодаря чему между электродами и ванной металла 8 в процессе работы поддерживается определенное расстояние. Печь имеет два опорных сегмента 1. Для наклона печи при сливе стали через желоб 3 предусмотрен механизм поворота 10.

Электрический ток подается к электродам по гибкому кабелю от понижающего трансформатора.

В печах большой емкости (более 5 т) загрузка шихты производится сверху краном, для этого свод делается съемным. В печах емкостью до 5 т свод несъемный и загрузка шихты осуществляется через рабочее окно 7.

В настоящее время работают дуговые сталеплавильные печи с массой садки от 0,5 до 200 т и более.

Плавка стали в электропечах

Обычно для плавки стали в дуговых электрических печах применяют шихтовые материалы в твердом состоянии. Шихта состоит из стального лома, чугуна, железной руды, флюсов, ферросплавов. В качестве флюсов применяют: в основных печах — известь, в кислых — кварцевый песок. Плавка шихты происходит за счет тепла трех электрических дуг, образующихся между электродами и металлом. Температура дуги более 3000° С. Тепло передается металлической ванне излучением.

В процессе плавки берут пробы металла и шлака и сталь доводят до заданного химического состава. Для полного раскисления стали в конце плавки добавляют ферросилиций и технический алюминий. При выплавке легированных сталей вводят легирующие добавки, после чего металл нагревают, выдерживают при заданной температуре около 15 мин и затем выпускают в сталеразливочные ковши. Процессы окисления примесей и удаления фосфора и серы в шлак аналогичны с процессами, происходящими при плавке стали в мартеновских печах.

С целью интенсификации процесса плавки в электродуговых печах сталь продувают кислородом для окисления примесей, что позволяет повысить производительность печей на 20–30%; кроме того, значительный эффект даст увеличение емкости печи, правильная организация производства, комплексная механизация и автоматизация загрузки, плавки и пр.

Технико-экономические показатели работы дуговых электропечей

Основными технико-экономическими показателями работы дуговых электропечей являются производительность и себестоимость слитков.

Производительность печи определяется по формуле

$$A = \frac{24nga}{100T},$$

- где A — годовая производительность печи, т;
 n — число рабочих суток (определяется из календарного времени за вычетом нерабочих дней и простоев электропечи ~6% от календарного времени);
 g — масса металлической шихты на плавку, т;
 a — выход годных слитков из металлической шихты (примерно 90%);
 T — продолжительность плавки.

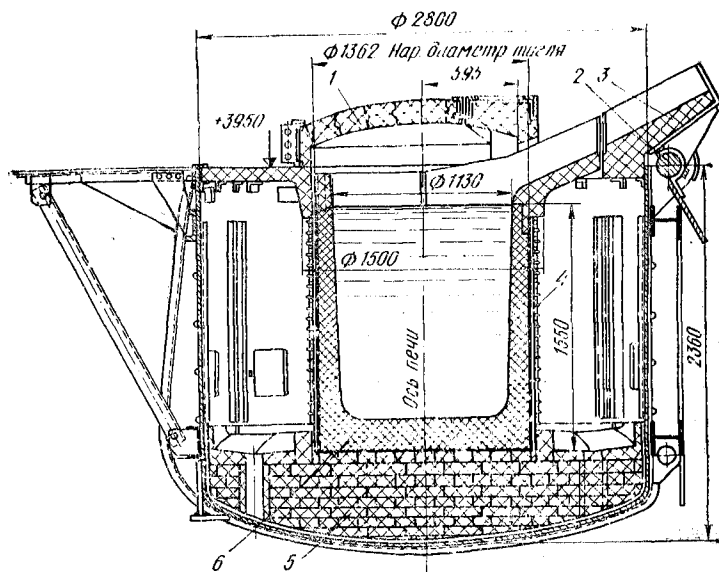


Рис. 5. Схема индукционной сталеплавильной печи

Плавка стали в индукционных высокочастотных печах происходит за счет образования тепла от мощных вихревых токов, индуктирующихся в металле.

Индукционная печь (рис. 5) состоит из огнеупорного тигля 6, обвешенного индуктором в виде медного змеевика 4, внутри которого циркулирует вода для его охлаждения во время плавки, огнеупорного пода 5 и съемного

свода 1. Набивной тигель с индуктором находится в стальном кожухе, к передней части которого под сливным носком 3 прикреплена ось поворота 2, опирающаяся на две цапфы для поворота печи. При сливе металла печь можно наклонять с помощью электрического или гидравлического (на крупных печах) привода на угол до 95°. К индуктору подается ток от генератора с частотой от 500 до 2500 пер/с. Мощность генераторов выбирают из расчета 1,0—0,3 кВт/кг загрузаемого металла в печь. Емкость применяемых сталеплавильных индукционных печей находится в пределах от 60 кг до 25 т. При плавке в индукционных печах

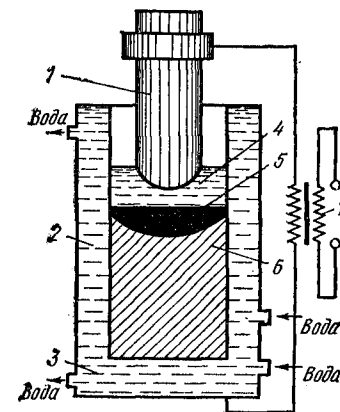


Рис. 6. Принципиальная схема электрошлакового процесса:

- 1 — расходный электрод; 2 — кристаллизатор; 3 — поддон; 4 — расплавленный шлак; 5 — жидкий металл; 6 — полученный слиток; 7 — трансформатор

вредные примеси (сера и фосфор) из металла не удаляются, поэтому используют шихту с минимальным их содержанием. Обычно в печах этого типа выплавляют наиболее ценные сорта стали, идущие на изготовление ответственных деталей.

5. НОВЫЕ МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ СТАЛИ

К новым методам производства стали относятся электрошлаковый переплав, плавка и разливка металла под вакуумом, вакуумирование стали в ковше и др. Ниже рассматривается один из этих методов.

Электрошлаковый переплав

Сущность метода заключается в следующем. Из стали, предназначенной для переплава, сначала изготовляют электроды. Затем на медный поддон установки кладут шайбу (затравку) из той же стали, что и электроды.

На шайбу насыпают электропроводный флюс, электроды опускают до соприкосновения с ним, потом в зазор между стенкой кристаллизатора и электродом засыпают рабочий флюс, состоящий из смеси Al_2O_3 , CaO и CaF_2 , и подают напряжение. Вначале горит электрическая дуга, и рабочий флюс плавится, и образуется шлак с температурой около $2500^\circ C$. Затем дуга гаснет, и процесс идет за счет тепла, выделяющегося в слое расплавленного шлака, служащего сопротивлением при прохождении через него электрического тока. Это выделение тепла происходит по закону Джоуля — Ленца по формуле

$$Q = 0,24I^2Rt,$$

где I — сила тока, А;
 R — сопротивление проводника, Ом;
 t — время, с.

Благодаря этому теплу электрод расплавляется, капли металла, проходя через слой жидкого шлака, очищаются от вредных примесей (серы), неметаллических включений и газов. Из этих капель в водоохлаждаемом кристаллизаторе образуется высококачественный слиток (рис. 6). Интенсивный отвод тепла обеспечивает направленную снизу вверх кристаллизацию металла в слитке. В полученных слитках отсутствует пористость, усадочная рыхлость, неметаллические и газовые включения, слитки однородны по строению. Содержание серы в стали после переплава уменьшается почти в два раза.

6. РАЗЛИВКА СТАЛИ

Разливка является важной операцией, так как от нее во многом зависит качество слитков.

Существует два основных метода разливки стали — в изложницы и непрерывное литье. Первый метод подразделяется на два способа — на заливку стали в изложницы сверху (рис. 7) и снизу (сифонный способ, рис. 8). По первому способу сталь заливается из ковша в каждую изложницу сверху, а по второму — через центральной литник и систему литниковых каналов одновременно в несколько изложниц, установленных на поддоне.

Для разливки стали в изложницы пользуются сталеразливочными стопорными ковшами.

В изложницах с верхней разливкой получают примерно 80% слитков, остальные — сифонным способом.

Форма изложниц применяется двух типов: с уширением кверху для разливки спокойной стали и с уширением книзу для разливки кипящей и полуспокойной сталей.

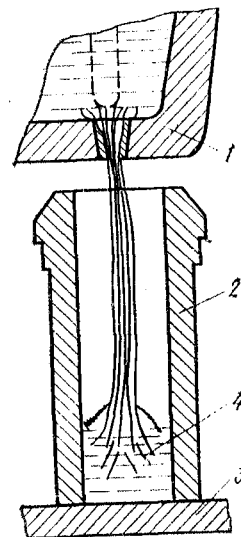


Рис. 7. Схема разливки стали сверху:

1 — стопорный ковш; 2 — изложница; 3 — поддон; 4 — залитая сталь

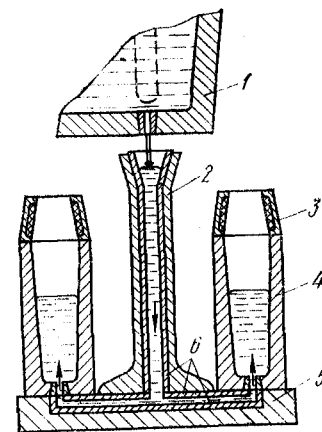


Рис. 8. Схема разливки стали снизу:

1 — стопорный ковш; 2 — центровой литник; 3 — прибыльная надставка; 4 — изложницы; 5 — поддон; 6 — огнеупорный (сифонный) кирпич

Изложницы, уширяющиеся кверху, делают с дном, а уширяющиеся книзу сквозными (без дна), и при заливке их ставят на поддоны. При разливке спокойной стали сверху изложниц устанавливают прибыльные надставки, внутри футерованные огнеупорной массой, что позволяет в надставке дольше сохранить жидкое состояние стали и лить слиток металлом при усадке.

Сталь, выпускаемая из печи в ковш, должна быть перегрета на $100—150^\circ C$ выше температуры плавления.

Разливка стали методом непрерывного литья. Сущность непрерывного способа разливки состоит в том, что жидкий металл непрерывно заливают в кристаллизатор

(рис. 9), представляющий собой водоохлаждаемую изложницу без дна. Сталь из ковша поступает в разливочное дозирующее (промежуточное) устройство, а из

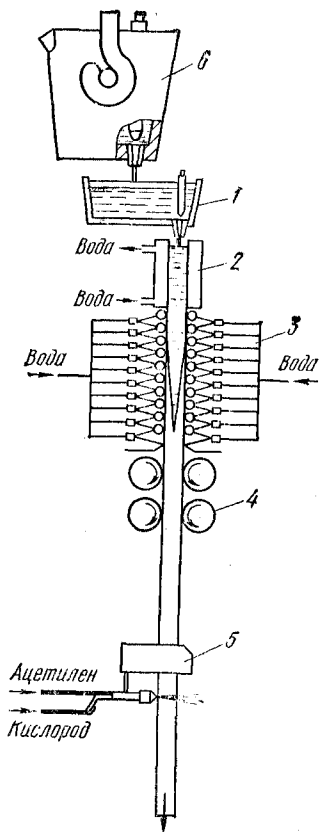


Рис. 9. Схема установки для непрерывной разливки стали:

1 — разливочное дозирующее устройство; 2 — медный охлаждаемый проточник для охлаждения слитка распыленной водой; 3 — форсунки для распыленной воды; 4 — ролик, тянущий слиток вниз; 5 — газорезка; 6 — стопорный ковш

подвергается вторичному охлаждению с помощью распыленной форсунками воды. Окончательно затвердевший слиток в нижней части установки разрезается передвигающимся синхронно с ним газокислородным резаком на длины заготовки. После отрезки кусок слитка пужной длины газорезка поднимается в исходное положение, а отрезанная заготовка транспортируется в прокатный цех или на склад. Приведенное описание относится к установке вертикального типа. В настоящее время строят в

последнем — в кристаллизатор. Вначале в нижнюю часть кристаллизатора вводят заправку, например металлическую штапу, нижний конец которой находится в тянущих роликах, а верхний образует временное дно кристаллизатора. Затем в водоохлаждаемый кристаллизатор заливается металл и включается механизм вытягивания. Последний при помощи тянущих роликов опускает заправку и образовавшийся слиток вниз.

Заливка металла в кристаллизатор и опускание слитка производится с определенной скоростью. Выходя из кристаллизатора, слиток с еще жидкой сердцевиной

основном установки радиального типа, в которых заготовка после выхода из кристаллизатора постепенно изгибается в горизонтальное положение.

Для непрерывного литья могут применяться установки с несколькими кристаллизаторами, позволяющими одновременно отливать сразу большое количество различных слитков. Кроме круглых, могут отливаться слитки квадратного сечения, плоские и др. Производительность одноручевой установки при отливке круглых слитков до 10 т/ч, квадратного сечения до 20 т/ч.

7. СТРОЕНИЕ И КАЧЕСТВО СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ

При затвердевании спокойной стали в изложнице слиток получается неоднородным (рис. 10), образуются три зоны: тонкий наружный слой, состоящий из мелких равноосных кристаллов, за которым следует зона вытянутых крупных столбчатых кристаллов, и центральная зона крупных неориентированных кристаллов.

При затвердевании слитка в его верхней части образуется усадочная раковина.

В слитках, отлитых методом непрерывного литья, усадочные раковины отсутствуют и слиток имеет по сечению более однородную структуру.

Стали, выплаваемые металлургической промышленностью, классифицируют по способу производства, назначению, качеству, химическому составу, степени раскисленности.

По способу производства различают следующие стали: конверторную, мартеновскую, электросталь, сталь электрошлакового переплава и сталь, полученную в вакуумных ин-

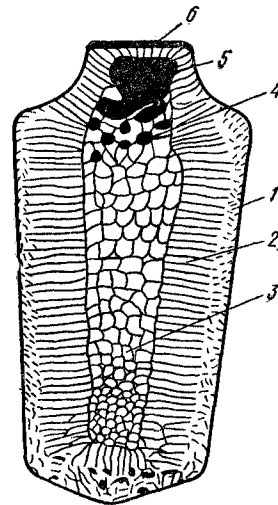


Рис. 10. Строение стального слитка, отлитого из спокойной стали (продольный разрез):

1 — наружный слой, состоящий из мелких кристаллов; 2 — зона столбчатых вытянутых к центру слитка кристаллов; 3 — крупные беспорядочно ориентированные кристаллы; 4 — усадочные пустоты и рыхлость; 5 — усадочная раковина; 6 — металлический мост

дукционных и дуговых электродных. По назначению стали подразделяются на: а) конструкционные, из которых изготовляют разнообразные детали станков и машин, металлоконструкции мостов, каркасы зданий, конструкционные стали бывают углеродистые и легированные; б) инструментальные стали, применяемые для изготовления различных инструментов (фрез, резцов, калибров и др.) и штампов; в) стали специальные с особыми физическими и химическими свойствами (жаростойкая, трансформаторная, кислотоупорная, пержавеющая).

Кроме этого, в отдельную группу выделены стали, название которых определяется их назначением: шарикоподшипниковая, рельсовая, оружейная, броневая, котельная, трубная, рессорно-пружинная.

По качественным признакам стали классифицируют на сталь обыкновенного качества, качественную и высококачественную. Различаются эти стали между собой главным образом по содержанию вредных примесей (серы и фосфора). Сталь обыкновенного качества может содержать серы и фосфора до 0,06%, качественная — не более 0,040—0,045% и высококачественная — не более 0,030—0,035%.

По степени раскисленности и характеру затвердевания в изложнице стали подразделяют на спокойные, полуспокойные и кипящие.

По химическому составу стали делятся на углеродистые и легированные. Характеристика и маркировка сталей приводятся в разделе «Металловедение и термическая обработка».

Глава IV

ПРОИЗВОДСТВО ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Все металлы условно разделяют на черные (железо, хром, марганец) и цветные (все остальные).

Цветные металлы делят на несколько групп, в том числе на легкие и тяжелые (с удельным весом больше пяти). Роль цветных металлов и сплавов в народном хозяйстве значительна, а многие из них имеют весьма важное значение. Особенно широко применяются: медь, алю-

миний, магний, цинк, свинец, никель, олово, титан и сплавы на их основе.

По возрастающей стоимости цветные металлы можно расположить в следующем порядке: цинк, алюминий, медь, свинец, магний, никель, олово, титан.

Основную часть цветных металлов получают из руд, а их сплавы путем сплавления.

1. ПРОИЗВОДСТВО МЕДИ

Существует два способа извлечения меди из руд и концентратов — пирометаллургический и гидрометаллургический. Из них основным является первый способ. Медь получают главным образом из сернистых руд, содержащих CuS и Cu_2S .

Производство меди состоит из следующих основных стадий:

1) обжиг руд и концентратов; 2) получение медного штейна; 3) получение черновой меди; 4) рафинирование меди.

Обжиг руд и концентратов производят в многоподовых печах шахтного типа с механическим перегреванием руды или «в кипящем слое», который является более прогрессивным.

Обжиг преследует цель максимально снизить содержание в руде серы.

Для обжига руды или концентратов в кипящем слое (рис. 11) их измельчают и подают транспортером 1 в бункер 2, откуда через дозатор 3 материал поступает в камеру 4, имеющую в дне 5 отверстия (фурмы) для вдувания воздуха, поступающего из воздушной коробки 6. При подаче воздуха порошкообразный концентрат интенсивно перемешивается — «кишит», при этом зерна удерживаются во взвешенном состоянии. Это способствует более интенсивному процессу окисления (горения) серы. Образовавшиеся сернистые газы из камеры 4 поступают в пылеуловитель 7 и оттуда после очистки направляются для получения серной кислоты.

При обжиге медных руд и концентратов удаляется до 50% серы.

Обоженный концентрат или руда, называемые огарком, поступают на плавку для получения медного штейна. Для плавки применяются отражательные печи (рис. 12).

Печи делают длиной 30—35 м, шириной 8—11 м и высотой от пода до свода 3,5—4,5 м. Стены выкладывают из динасового кирпича, а свод — из динаса или же из магнезитового кирпича. Под печи набивают кварцевым пес-

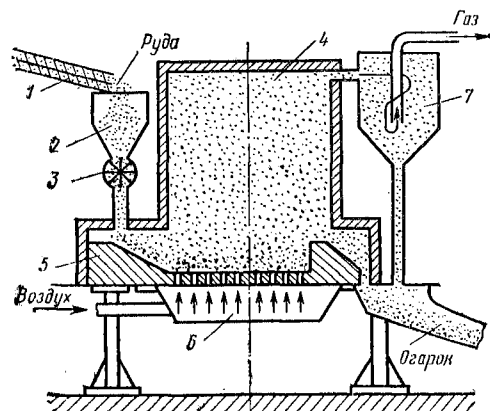


Рис. 11. Схема обжига руд и концентратов в кипящем слое

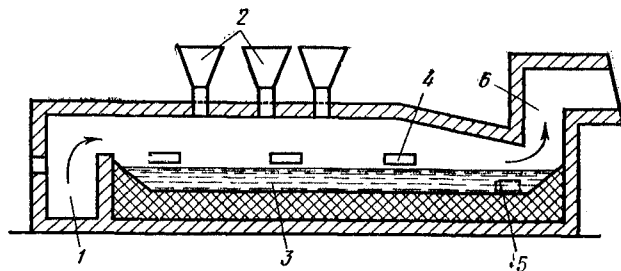


Рис. 12. Отражательная печь для выплавки медного штейна:
1 — камера сгорания топлива; 2 — воронки для загрузки шихты;
3 — ванна печи; 4 — отверстие для выпуска шлака; 5 — летка для выпуска штейна; 6 — дымоход

ком, зерна которого при нагреве до 1500—1600° С переходят в тридимит и свариваются. Мелкий шихтовый материал загружается в рабочее пространство через отверстия в своде, а жидкий конверторный шлак заливают через окно в передней стенке печи. Расплавленная масса разделяется в ванне по удельному весу на два слоя: вни-

зу располагается сплав сульфидов, называемый штейном, а сверху сплав окислов — шлак.

Печи отапливаются каменноугольной пылью, мазутом и природным газом. Камера сгорания топлива расположена с одного конца печи, а дымовые газы удаляются с другого конца, через боров. Температура газов в наиболее горячей зоне у передней стенки достигает 1500—1600° С, а при выходе в хвостовой части печи снижается до 1220—1280° С.

Температура в рабочей части печи достаточно высокая, чтобы обеспечить расплавление шихты и поддерживать шлак и штейн в жидком состоянии. Шлак и штейн периодически выпускают из печи по мере их накопления через специальные отверстия. Благородные металлы (золото и серебро) почти полностью переходят в штейн.

Основная масса (80—90%) полученного штейна состоит из сульфидов меди и железа. Остальная часть представляет собой окислы различных металлов.

Производительность отражательных печей исчисляется в тоннах проплавленной шихты в сутки, либо в этих же величинах, но отнесенных к одному квадратному метру площади пода; в последнем случае применяется термин «удельный проплав», который составляет от 2 до 6 т/м².

Тепло отходящих газов, имеющих температуру более 1200° С, используется в паровых котлах, а также для подогрева воздуха, идущего на дутье.

Получение черновой меди осуществляется в конверторах горизонтального типа с боковым дутьем. Современный медеплавильный конвертор (рис. 13) имеет длину 6—10 м и наружный диаметр 3—4 м; футеровка состоит из магнезитового кирпича. Заливку штейна, загрузку кварцевого флюса (содержащего 75—80% SiO₂), выпуск черновой меди и удаление газов производят через горловину конвертора, расположенную в средней части корпуса. Фурмы для вдувания воздуха в количестве 46—52 шт. диаметром около 50 мм расположены по образующей поверхности конвертора.

В результате продувки штейна, которая длится несколько часов, получается черновая медь (содержание меди 98,5—99,5%) и конверторный шлак (сплав окислов железа, кремния и алюминия). Процессы окисления протекают с выделением тепла, благодаря чему температура

расплава в конверторе повышается с 1100—1200° С (температура заливаемого штейна) до 1250—1350° С. Для получения черновой меди не требуется топлива, так как процесс идет за счет тепла химических реакций. Черновую медь выливают через горловину конвертора в ковши, а из последних разливают в слитки, для чего применяют разливочные машины. Производительность конвертора за одну операцию составляет 80—100 т.

Полученная черновая медь содержит сернистые соединения, окислы, железо и другие примеси и поэтому не

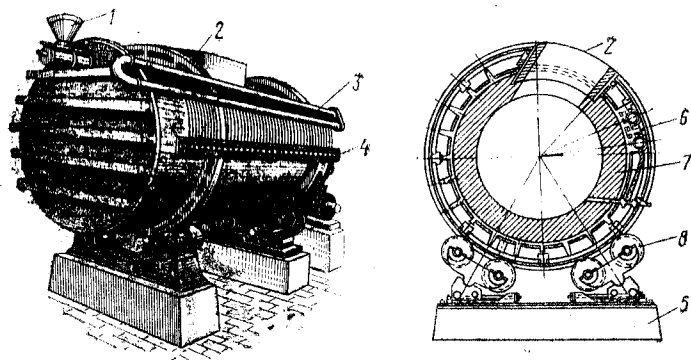


Рис. 13. Конвертор горизонтального типа для получения черновой меди:
1 — отверстие для подачи флюса (молотого кварца); 2 — горловина;
3 — воздухопровод; 4 — фурмы; 5 — фундамент; 6 — стальной кожух;
7 — огнеупорная кладка; 8 — ролики с приводом для поворота конвертора

может быть использована в таком виде для технических целей.

Черновую медь подвергают огневому и электролитическому рафинированию; при этом удаляются вредные примеси и можно извлечь находящиеся в ней благородные металлы.

Процесс огневого рафинирования осуществляют в пламенных отражательных печах емкостью 200—250 т; он состоит из расплавления чушек черновой меди, окисления примесей, удаления растворенных в металле газов и раскисления меди. Примеси окисляются продуванием расплавленной черновой меди воздухом, подаваемым через фурмы под давлением до 2 ат. При этом примеси окисляются в соответствии с их тепловыми эффектами в

следующей последовательности: Al, Si, Mn, Zn, Sn, Fe, Ni, As, Sb, Pb, Bi, Cu. Одна часть примесей (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 и др.) переходит в шлак, другая (ZnO , PbO и др.) возгоняется и удаляется с печными газами, третья (Au, Ag) остается в расплаве. Согласно закону действующих масс одновременно окисляется и часть меди.

Период окисления примесей длится около 3 ч, после чего продувку прекращают и производят удаление растворенных в металле газов, так называемое дразнение на плотность (после удаления шлака в металл погружа-

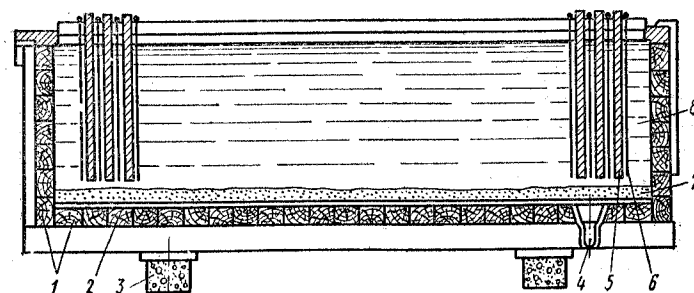
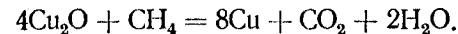


Рис. 14. Ванна для электролитического рафинирования меди:

1 — корпус ванны (деревянный); 2 — листовой свинец; 3 — изоляторы;
4 — отверстие для спуска осадка (шлама); 5 — анод; 6 — катод;
7 — шлак; 8 — электролит

ют сырые березовые или сосновые бревна). При этом происходит бурное выделение паров воды и газов, вследствие чего металл хорошо перемешивается, а образующиеся углеводороды раскисляют закиps меди по реакции



В результате дразнения содержание Cu_2O в меди снижается с 10—12 до 0,3—0,5%. Готовую медь с содержанием 99,5—99,7% Cu выпускают из печи в ковши и разливают на анодные плиты (для электролиза) или на слитки (для производства сплавов).

В настоящее время до 95% черновой меди подвергают электролитическому рафинированию. Это позволяет удалить такие примеси, как Bi, As, Sb и др., ухудшающие технические свойства и электропроводность меди, а также извлечь благородные металлы. Для электролиза изго-

товляют деревянные или бетонные ванны, футерованные внутри свинцом или винипластом (рис. 14). Медные катоды изготовляют из тонких листов (0,5—0,7 мм) чистой меди, а анодные плиты — из меди после огневого рафинирования. Электролитом служит раствор медного купороса с добавкой 10—15% H_2SO_4 . К катодам подводят ток от отрицательного полюса, а к анодам — от положительного. При пропускании постоянного электрического тока анод растворяется, медь переходит в раствор, а на катодах разрезаются и осаждаются ионы чистой меди. В течение 10—12 суток на каждом катоде (их в ванне более 20 шт.) осаждается до 90 кг чистой меди. Согласно ГОСТу медь выпускается следующих марок: М00 (99,99% Cu), М0 (99,95% Cu), М1 (99,90% Cu), М2 (99,7% Cu), М3 (99,5% Cu), М4 (99% Cu).

2. ПРОИЗВОДСТВО АЛЮМИНИЯ

Основной рудой для получения алюминия являются бокситы. В них содержится 40—60% Al_2O_3 ; 15—30% Fe_2O_3 ; 5—15% SiO_2 ; 2—4% TiO_2 до 3% CaO и 10—15% H_2O .

Технологический процесс получения алюминия состоит из трех основных стадий:

- 1) получение глинозема (Al_2O_3) из руд;
- 2) получения алюминия из глинозема;
- 3) рафинирование алюминия.

Получение глинозема из руд

Наиболее широкое применение получили способы выщелачивания из руд Al_2O_3 в виде растворимого в воде алюмината натрия ($Al_2O_3 \cdot Na_2O$). Для этого мелко измельченную руду обрабатывают едким натром (NaOH) или содой (Na_2CO_3). Выщелачивание производится в специальных автоклавах при температуре 150—200°С и давлении около 12 ат. При этом алюминий, содержащийся в бокситах в виде гидратов окислов, взаимодействует с едким натром и переходит в раствор, образуя алюминат натрия, из которого затем получают Al_2O_3 . Этот способ извлечения глинозема из руды (способ Байера) получил наиболее широкое применение в промышленности. Этим способом извлекается 85—87% от всего получае-

мого глинозема. Полученная окись алюминия представляет собой прочное химическое соединение с температурой плавления 2050°С.

Получение алюминия из глинозема

Алюминий получают электролизом из глинозема, растворенного в расплавленном криолите (Na_3AlF_6), в специальных ваннах (электролизерах). Ванна имеет стальной кожух, внутри футерованный теплоизоляционным шамотным кирпичом, а подина и стенки выложены угольными блоками. В подине ванны смонтированы катодные шины. Сверху в ванну с расплавленным криолитом, содержащим 8—10% глинозема и до 10% MgF_2 , CaF_2 и NaCl, опущен анод, который частично погружен в электролит.

Современные ванны обычно применяются (одноанодные) с самообжигающимся анодом (рис. 15). Непрерывный самообжигающийся анод устроен следующим образом. Внутри прямоугольной алюминиевой обечайки загружают угольную анодную массу (нефтяной или смоляной кокс или каменноугольный пек). В верхних слоях масса находится при 100—140°С в жидком состоянии, затем ниже она переходит при 360°С в тестообразное состояние, при 400—950°С спекается в твердую анодную массу. Перемещение анодов по вертикали производится с помощью электродвигателей. Перед пуском в работу электролизера производят обжиг анодов и подогрев ванны в течение 6—8 суток, потом заливают жидкий электролит из другой действующей установки и уже затем приступают к электролизу. Постепенно сгорающие аноды опускают в ванну, а сверху загружают анодную массу. Обедняющийся глиноземом электролит периодически пополняется новыми порциями и, таким образом, обеспечивается непрерывность процесса. Электролизер работает непрерывно 2—3 года.

Постоянный электрический ток к аноду подводится от шин, расположенных сверху над ванной, а к катоду через шины, заделанные в подине ванны. Ток используется как для электрохимического процесса, так и для нагрева электролита. В процессе электролиза поддерживают температуру криолита 950—970°С, рабочее напряжение 4—5 В и силу тока около 75 000 А. В современных

цах осуществлена непрерывная подача глинозема в ванны, и процесс электролиза алюминия автоматизирован.

При электролизе имеют место следующие процессы. Расплавленный криолит под действием электрического тока диссоциирует на ионы.

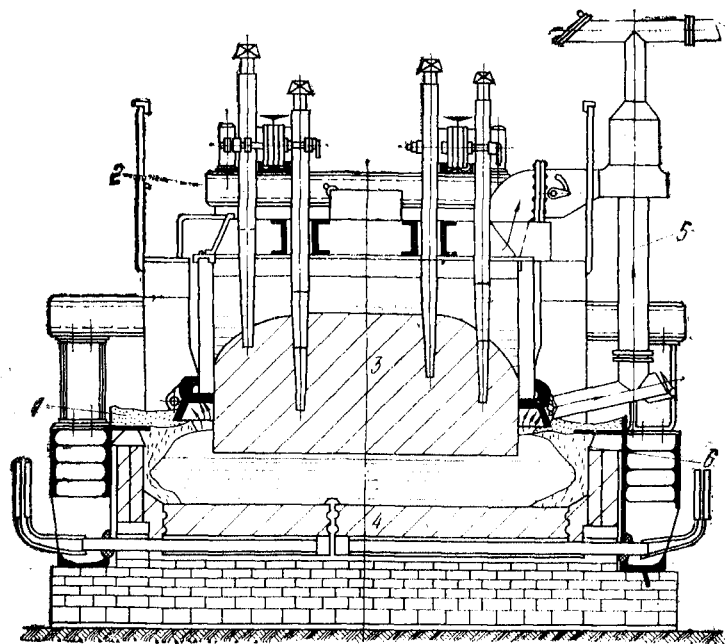


Рис. 15. Схема современной ванны для электролитического получения алюминия с самообжигающимся анодом.

1 — слой глинозема; 2 — токоподводящие стержни; 3 — анод; 4 — катодный угольный блок; 5 — газоотсосная система; 6 — гарпунсаж.

Положительно заряженные ионы Al^{3+} переносятся электрическим током к подине (катоде), где происходит катодный процесс (разряд ионов алюминия и выделение металлического алюминия в жидком виде).

В результате этого алюминий накапливается на дне ванны под слоем электролита, откуда его удаляют обычно с помощью сифонного устройства или путем вычерпывания ковшем через трос или четверо суток.

Отрицательно заряженные анионы AlO_3^- переносятся током к аноду (угольному электроду).

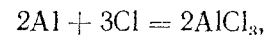
Выделяющийся при этом кислород окисляет углерод анода с образованием CO и CO_2 , которые удаляются с помощью вентиляционных устройств.

При электролизе расходуется глинозем и углерод анодов, а получают алюминий и окислы углерода.

При электролизе для производства 1 т алюминия расходуется около 2 т глинозема, 0,1 т криолита и других фторидов, 0,7 т анодной массы и 17 000—18 000 кВт·ч электроэнергии. Электроэнергия составляет более 30% стоимости получаемого алюминия.

Рафинирование алюминия

Полученный электролизом алюминий содержит ряд примесей: металлических (Si , Fe , Zn и др.), неметаллических (Al_2O_3 , C и др.) и газообразных (H , N , CO , CO_2 и др.), которые ухудшают его свойства. Для получения чистого алюминия его подвергают рафинированию путем хлорирования или электролитическим способом. Метод хлорирования заключается в продувке алюминия хлором в ковше, в специальной камере при температуре 750—760°С в течение 10—12 мин. При этом образуется газообразный хлористый алюминий



который, проходя через жидкий металл, способствует всплыванию неметаллических примесей и удалению газов, растворенных в алюминии. Образующиеся хлористые соединения: $NaCl$, $MgCl_2$ и $CaCl_2$ также всплывают на поверхность. При хлорировании теряется часть алюминия до 1,0%, а расход хлора составляет около 0,1% от массы металла. После рафинирования хлором алюминий разливают на чушки. Чистота полученного алюминия составляет 99,5—99,85%.

Для получения алюминия более высокой чистоты применяют электролитический способ рафинирования. Для электролита используют фтористые и хлористые соли с температурой плавления несколько выше температуры плавления алюминия. В расплавленном электролите алюминий подвергают анодному растворению и электролизу. Более высокие электроположительные свойства алюми-

ния в сравнении с Na, Ca и Mg позволяют осаждать его на катоде (катодом служит чистый алюминий). Электролитическим рафинированием получают алюминий чистотой 99,996% и выше.

Алюминий первичный в чушках по ГОСТу выпускается следующих марок:

- 1) особой чистоты, А-999 с содержанием алюминия не менее 99,999%;
- 2) высокой чистоты А-995, А-99, А-97; А-95;
- 3) технической чистоты, А-85, А-8, А-7, А-6, А-5, А-0, АЕ и А.

3. ПРОИЗВОДСТВО МАГНИЯ

Для производства магния применяют магнезит ($MgCO_3$), содержащий 28,8% Mg, доломит ($MgCO_3$, $CaCO_3$), содержащий 21,7% Mg, карналлит ($MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$), содержащий 8,8% Mg, и бишофит ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), содержащий 12% Mg.

Для получения металлического магния применяют два способа: электролитический и термический. В основе первого способа лежит электролиз расплавленного хлористого магния, а второго — восстановление окиси магния.

Хлористый магний получают обжигом магнезита или доломита при температуре 750—850°С с последующим хлорированием образующейся окиси магния при 800—900°С в присутствии восстановителя (углерода.)

Полученный хлористый магний в расплавленном состоянии транспортируется в ковше в цех электролиза.

После выдержки, которая дается для оседания на дно печи окиси магния, в расплаве остается до 50% $MgCl_2$, около 0,5% MgO и остальное NaCl и KCl. Готовый расплав направляется в электролизный цех.

Получение магния ведут в специальных электролизных ваннах (рис. 16). Электролитом является расплав хлористых солей $MgCl_2$, NaCl, KCl, $CaCl_2$. Анодами служат графитовые электроды, соединенные с положительным полюсом источника тока, катодами — стальные пластины, подключенные к отрицательному полюсу источника тока. Катодная часть отделена от анодной огнеупорной перегородкой. Электрический ток, проходя через электролит, нагревает его до 700—750°С, при этом

$MgCl_2$ разлагается и в катодном пространстве выделяется магний, а в анодном хлор. Так как плотность магния меньше, чем электролита, он всплывает и накапливается на поверхности ванны. Отсюда его перекачивают в вакуумный котел. Образующийся хлор отсасывается через хлоропровод. Окись магния, восстановленное железо и

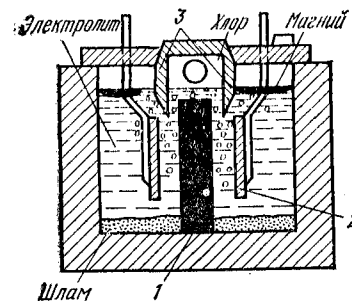


Рис. 16. Схема электролизной ванны для получения магния:

1 — графитовые пластины (анод), соединенные с положительным полюсом источника тока; 2 — стальные пластины (катод), соединенные с отрицательным полюсом источника тока; 3 — огнеупорная перегородка, отделяющая анодное пространство от катодного

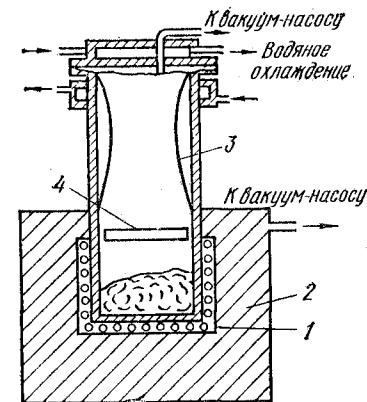


Рис. 17. Схема реторты для рафинирования магния возгонкой:

1 — нагреватель; 2 — тепловая изоляция; 3 — магний, осевший на стенках реторты; 4 — экран

другие примеси осаждаются на дно ванны и по мере накопления периодически удаляются. При электролизе расходуется до 25 кг электродов и 15 000—17 000 кВт·ч электроэнергии на 1 т магния.

Полученный электролизом магний содержит до 3% примесей (хлористые соли, окись магния и др.), поэтому его подвергают рафинированию путем переплавки в стальных тигельных печах с флюсом или возгонкой магния. В качестве флюса применяют сплав хлористых и фтористых солей, которые перемешивают с жидким металлом при температуре 720—750°С, после чего дают расплаву выстояться. При этом примеси опускаются на дно тигля. Очищенный магний разливают в изложницы при помощи ковшей чайникового типа, причем струя металла предохраняется от окисления путем опыления ее мелким порошком серы.

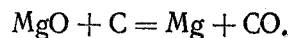
Рафинирование магния возгонкой основано на большей упругости паров его по сравнению с примесями (кремнием, железом, медью и др.). Процесс ведут в герметически закрытых ретортах (рис. 17) в вакууме [остаточное давление (0,1—0,2 мм рт. ст.)]. Нижняя часть реторты подогревается до температуры 600°С, при которой магний начинает испаряться, а верхняя охлаждается примерно до 450°С для конденсации паров магния; при этом магний оседает на стенках реторты. Полученный магний в виде чистых блестящих кристаллов удаляется со стенок реторты, переплавляется и разливается на чушки. Рафинированный металл содержит 99,91—99,99% Mg.

В основу производства магния термическим путем положены процессы восстановления окиси магния кремнием, карбидом кальция или углеродом. Восстановление магния кремнием или карбидом кальция ведется в стальных ретортах при глубоком вакууме и температуре 1100—1200°С. Основным исходным материалом служит обожженный магнезит или доломит.

При карбидотермическом способе магний восстанавливается.

При силикотермическом и карбидотермическом способах восстановленный магний испаряется и конденсируется (кристаллизуется) на стенках в кристаллизаторах.

Восстановление магния углетермическим способом ведется в трехфазной дуговой электропечи, футерованной угольными блоками, в атмосфере водорода при температуре выше 2000°С. При этом магний восстанавливается по реакции



Восстановленный магний испаряется и осаждается в виде кристаллов на стенках холодильника, соединенного с печью, откуда его извлекают, переплавляют и разливают в чушки. Полученный термическим путем магний содержит 99,9% Mg.

Технический магний в чушках согласно ГОСТу выпускается двух марок: Mg 1 (99,91% Mg), Mg 2 (99,85% Mg).

4. ПРОИЗВОДСТВО ТИТАНА

Для производства титана применяют главным образом рутил (TiO_2), ильменит ($\text{TiO}_2 \cdot \text{FeO}$) и перовскит ($\text{TiO}_2 \cdot \text{CaO}$). В связи с большим сродством титана к кислороду восстановить его из двуокиси (TiO_2) не удается. Поэтому двуокись титана сначала переводят в тетрахлорид титана (TiCl_4), а затем из последнего получают чистый металл. Основным исходным сырьем для производства титана являются рутиловый и ильменитовый концентраты, которые получают обогащением титановых руд.

Для получения четыреххлористого титана рутил смешивают с коксом, древесным углем или графитом и каменноугольным пеком. Из полученной смеси изготовляют прессованные брикеты, которые затем в герме-

тической печи восстанавливают до металлического титана. Для этого брикеты загружают в печь, где они восстанавливаются до металлического титана. Полученный титановый порошок затем прессуют и получают титановый металл.

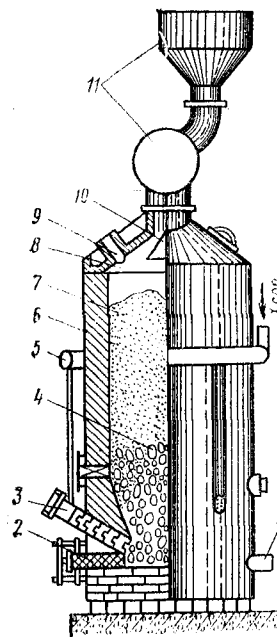


Рис. 18. Схема установки для хлорирования пористой массы титана (рутила):

1 — лоток для удаления побочных продуктов; 2 — графитовые электроды; 3 — фурмы для подачи хлора; 4 — угольная насадка; 5 — трубопровод для подачи хлора; 6 — футеровка печи (шамотный кирпич); 7 — пористые брикеты из рутила; 8 — свод печи; 9 — отверстие для удаления парогазовой смеси; 10 — загрузочный конус; 11 — бункер с загрузочным устройством

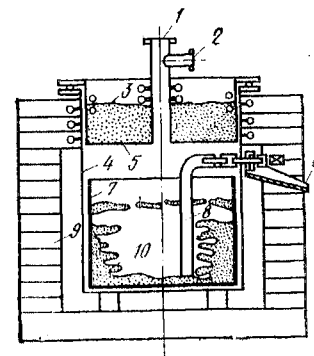


Рис. 19. Схема печи восстановления титана магнийтермическим методом.

1 — отверстие для подачи тетрахлорида титана в реактор; 2 — труба для подачи аргона; 3 — теплоизоляция; 4 — реактор; 5 — крышка; 6 — желоб для слива хлористого магния; 7 — стальная камера; 8 — трубопровод для удаления хлористого магния; 9 — печь; 10 — губчатая масса титана

тически закрывающихся печах прокаливают при температуре 800—900°С. Полученные пористые брикеты подвергают хлорированию в специальных установках (рис. 18) при температуре 800—850°С.

Тетрахлорид титана в виде паров вместе с другими газообразными продуктами хлорирования поступает в

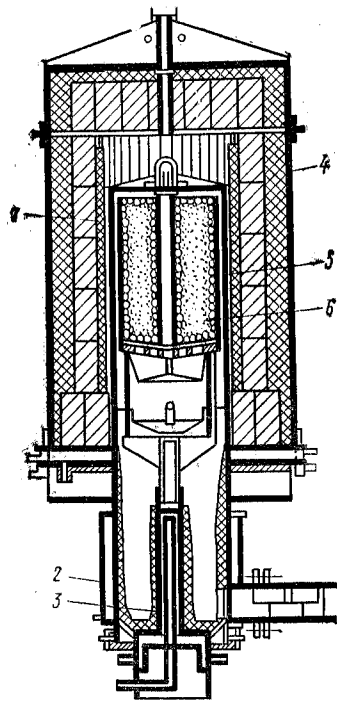


Рис. 20. Схема печи для вакуумной сепарации губчатой массы титана: 1 — нагревательные элементы; 2 — наружный конденсатор; 3 — внутренний конденсатор; 4 — кожух; 5 — контейнер; 6 — реакционная масса

пылеочиститель, где поддерживается температура 150—200°С с тем, чтобы предотвратить в нем конденсацию паров $TiCl_4$. Очищенную от пыли смесь хлоридов направляют для охлаждения в конденсаторы. Тетрахлорид титана концентрируется — накапливается в конденсаторах главным образом в жидком виде. Он содержит примеси в виде хлористых соединений других металлов, от которых освобождаются путем отстаивания, фильтрации и фракционной перегонки. В результате очистки получают тетра-

хлорид титана в виде бесцветной прозрачной жидкости.

Для восстановления титана из $TiCl_4$ существует несколько способов. Лучшим из них, получившим широкое распространение, является магни-

термический. Восста-

новление титана из $TiCl_4$ производится магнием в специальных печах, называемых реакторами (рис. 19). Для этого магний высокой чистоты в виде чушек загружают в стальной стакан реактора и затем реактор плотно закрывают крышкой. Далее из реактора откачивают воздух, наполняют его аргоном и подают туда $TiCl_4$. Ско-

рость подачи тетрахлорида титана должна быть такой, чтобы температура внутри реактора поддерживалась в пределах 800—850°С, в противном случае материал реактора будет взаимодействовать с восстановленным титаном.

Металлический титан выпадает на дно и стенки стального стакана и спекается в плотную губчатую массу, содержащую чистый и хлористый магний. Образующийся в результате реакций жидкий хлористый магний периодически удаляется.

После окончания процесса и охлаждения стакана из него извлекают полученный продукт. Примерный состав губчатой массы: 65—55% Ti, 25—30% Mg и 10—15% $MgCl_2$. Для удаления металлического и хлористого магния полученный титан подвергают рафинированию вакуумной сепарацией. Для этого стакан с реакционной массой закрывают крышкой, имеющей отверстия, затем поворачивают вверх дном, устанавливают в печь, создают вакуум 10^{-3} мм рт. ст. и нагревают до 900—950°С. При этом металлический и хлористый магний испаряются и проходят через отверстия в крышке стакана, конденсируются на конденсаторах, переходя из паров в жидкое, а затем в твердое состояние, и собираются в нижней части печи. Схема печи для вакуумной сепарации губчатой массы титана показана на рис. 20.

Полученную титановую губку переплавляют в дуговых вакуумных печах, и металл разливают в слитки. Плавка под вакуумом позволяет дополнительно очистить титан от влаги, водорода, металлического и хлористого магния. Слитки изготавливают массой до 5 кг и более. Их обрабатывают давлением для получения различных профилей.

Технический титан высокой чистоты содержит не более 1% примесей.

Хлористый магний (побочный продукт при производстве титана) можно использовать для получения магния, а хлор (побочный продукт при электролизе магния) и магний рационально применять при производстве титана.

Согласно ГОСТу титан выпускается следующих марок: ТГО (99,65% Т), ТГ1 (99,21% Т), ТГ2 (99,18% Т).

II ОСНОВЫ РАЗДЕЛ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Общие сведения

Металловедение — это наука о строении и свойствах металлов и их сплавов, изучающая связь между составом, строением и свойствами сплавов.

Три четверти всех элементов в периодической системе являются металлами: большинство из них применяется в технике. Как правило, все металлы сочетают высокую твердость с хорошей пластичностью и вязкостью, имеют большую плотность, хорошую тепло- и электропроводность и сравнительно малую теплоту превращения. У большинства металлов магнитные свойства выражены слабо; исключением является железо, никель и кобальт, магнитные свойства которых очень велики и имеют большое практическое значение. Металлы сравнительно трудно пропускают рентгеновские лучи и хорошо отражают световые волны.

Уникальное сочетание высокой прочности и твердости с хорошей пластичностью, вязкостью и обрабатываемостью, не встречающееся у других материалов, явилось причиной использования металлов в качестве основного конструкционного материала во всех областях техники.

Глава I

СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Свойства металлов и сплавов определяются их внутренним строением или структурой, т. е. типом кристаллов, из которых они состоят, формой и размером этих кристаллов и их взаимным расположением. Ориентировочные представления о строении и свойствах данного сплава могут быть получены при помощи диаграмм состояний, а более детальные — при использовании специальных методов

исследований и испытаний: металлографических, механических и т. п.

При одном и том же химическом составе сплав, в зависимости от условий кристаллизации и технологической обработки, может иметь разную структуру, а следовательно, и свойства.

I. АТОМНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПРОЦЕССЫ ПЕРВИЧНОЙ И ВТОРИЧНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Специфические свойства металлов и в первую очередь пластичность и обрабатываемость являются следствием особой природы межатомного взаимодействия в металлах.

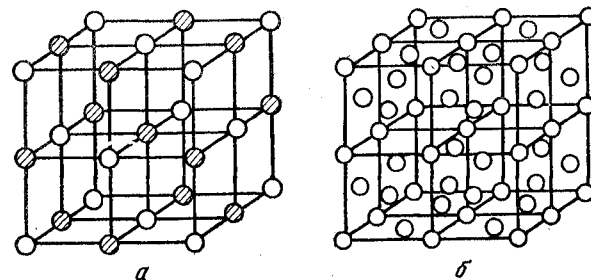


Рис. 21. Кристаллическая решетка:
а — хлористого натрия; б — металла

Все металлы — тела кристаллические, их атомы располагаются в пространстве упорядоченно, образуя кристаллическую решетку. Значительное количество неметаллических материалов также являются кристаллическими телами, однако свойства весьма отличаются от свойств металлов. В кристаллической решетке металла все узлы заняты одинаковыми атомами (ионами), в решетке же, например хлористого натрия, ионы натрия и хлора чередуются (рис. 21). И в том, и в другом случае ионы удерживаются на своих местах мощными силами межатомного взаимодействия, и нужны значительные механические усилия, чтобы нарушить и деформировать структуру кристалла. В идеальном кристалле силы вза-

имодействия могут быть определены и на их основе вычислена механическая прочность такого кристалла (как металлического, так и неметаллического). Вычисленная прочность идеального кристалла весьма велика, она во много раз превышает прочность реальных кристаллов и оказывается примерно одинаковой и для кристалла хлористого натрия, и для металлического кристалла, обладающих столь разной реальной прочностью. Причина различия теоретической и практической прочности заключается в том, что структура реальных кристаллов далека от совершенства вследствие различных нарушений правильности строения.

Атомы в кристалле металла соединены *металлической связью*. При этом атомы теряют часть внешних электронов и превращаются в положительно заряженные ионы. Свободные электроны, не связанные с каким-либо конкретным атомом, свободно передвигаются в кристалле с большими скоростями. Относительно свободное передвижение электронов в металле и является причиной высокой тепло- и электропроводности металлов. Взаимодействие между положительно заряженными ионами и свободно перемещающимися отрицательными электронами и является той силой, которая обеспечивает единство кристалла. Большая однородность взаимодействия при таком типе связи делает ее менее чувствительной к дефектам кристаллической решетки, поэтому кристаллы металлов обладают пластическими свойствами. Говоря о прочности материалов, мы имеем в виду не столько прочность идеальных кристаллов, сколько влияние на эту прочность несовершенств кристаллической решетки, имеющих место как внутри самого кристалла, так и между отдельными кристаллами (границы зерен).

Металлы менее чувствительны к несовершенствам кристаллической решетки, чем неметаллы. В противоположность этому, малейшие нарушения правильности строения у неметаллических кристаллов приводят к значительному ослаблению, потере пластичности и, в конечном счете, к разрушению даже при небольших нагрузках.

Кристаллическая структура металлов характеризуется типом кристаллической решетки, которую принято изображать в виде точек, соответствующих положению атомов, соединенных воображаемыми линиями. Наименьшая группа атомов, имеющая полную симметрию кри-

чае связано с изменением формы кристаллической решетки. Одно и то же кристаллическое вещество может иметь разные кристаллические решетки. Это явление носит название *аллотропии* или *полиморфизма*. На рис. 26 показаны аллотропические модификации чистого железа. После окончания кристаллизации при высоких температурах железо имеет объемноцентрированную кубическую решетку; эта модификация обозначается как δ -железо. При температуре 1401°C на кривой охлаждения имеется остановка, связанная с выделением скрытой теплоты перекристаллизации: объемноцентрированная решетка при этой температуре превращается в гранецентрированную (γ -Fe). При 910°C гранецентрированная решетка превращается опять в объемноцентрированную (α -железо). Модификация δ -железа отличается от α -железа только параметром решетки и поэтому представляет собой практически одну и ту же модификацию. Процесс образования новой кристаллической решетки в старой называется вторичной кристаллизацией, которая происходит по тем же законам, что и первичная, однако кристаллы при вторичной кристаллизации растут более медленно, поскольку диффузия, управляющая ростом кристалла, в твердых телах протекает менее интенсивно, чем в жидких.

Площадка на кривой охлаждения при 768°C вызвана изменением магнитных свойств, кристаллическая же форма железа остается неизменной.

2. СТРОЕНИЕ СПЛАВОВ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ДИАГРАММ СОСТОЯНИИ

Чистые металлы в качестве конструкционных материалов почти не применяются. Для повышения механических свойств, коррозионной стойкости и получения специальных физических свойств их сплавляют с другими металлами и неметаллами. Свойства полученного сплава будут зависеть от его структуры.

В результате совместной кристаллизации нескольких элементов могут образоваться сплавы следующих типов: механическая смесь, твердый раствор и химическое соединение. Возможность возникновения того или иного типа сплава определяется характером взаимодействия элементов в процессе кристаллизации. Рассмотрим строе-

ние этих сплавов в случае совместной кристаллизации двух элементов *A* и *B*.

Механическая смесь образуется при раздельной кристаллизации компонентов. Структура сплава в этом случае будет состоять из кристаллов вещества *A* и *B*, связь между которыми осуществляется по границам зерен (рис. 27, *a*). Значения свойств сплава будут средними между свойствами элементов, которые его образуют.

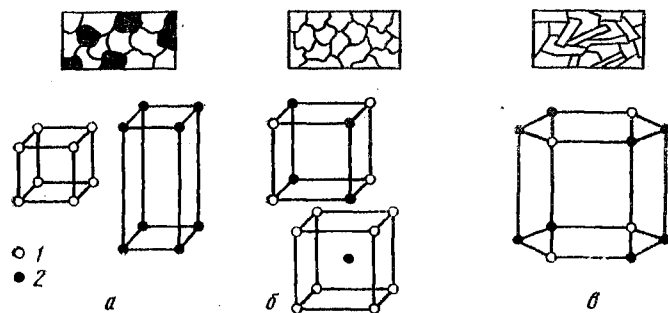


Рис. 27. Структуры и кристаллические решетки сплавов различных типов:

1 — атомы вещества *A*; 2 — атомы вещества *B*

Твердый раствор образуется в тех случаях, когда каждый кристалл сплава строится атомами обоих веществ. При этом строит кристаллическую решетку только один из компонентов, а другой компонент размещается в этой решетке в атомарном виде. В зависимости от характера размещения различают твердые растворы замещения и внедрения. При образовании твердого раствора замещения атомы одного из компонентов, например *B*, частично замещают атомы компонента *A* в узлах его кристаллической решетки. Твердый раствор внедрения образуется, когда атомы одного из компонентов размещаются в междоузлиях кристаллической решетки другого (рис. 27, *б*). Твердые растворы замещения могут образоваться при совместной кристаллизации металлов, а твердые растворы внедрения при совместной кристаллизации металла с неметаллом, например железа с углеродом. Твердые растворы принято обозначать буквами греческого алфавита α , β , γ и т. п.

Так, например, твердый раствор на основе кристаллической решетки вещества *A* может быть обозначен через *A* (*B*) или α . Структура такого сплава состоит из одинаковых кристаллов твердого раствора и под микроскопом выглядит так же, как и структура чистого металла или химического соединения (рис. 27, *в*). Значения свойств сплава — твердого раствора могут быть и выше и ниже свойств исходных компонентов.

Химическое соединение образуется в тех случаях, когда кристаллизующиеся компоненты взаимно химически активны. Здесь каждый возникающий кристалл сплава будет строиться совместно атомами вещества *A* и *B* в пропорции, определяемой формулой соединения. Кристаллическая решетка химического соединения будет новой, непохожей на кристаллическую решетку исходных компонентов. По свойствам такой сплав сильно отличается от свойств образующих его компонентов (рис. 27, *в*).

Строение сплава определяет его свойства, поэтому важно знать, как это строение будет меняться при изменении температуры и состава сплава. Зависимость между строением сплава, его составом и температурой описывается при помощи *диаграмм состояния*.

Диаграммы состояния строятся экспериментально по критическим точкам, полученным на кривых охлаждения сплавов данной системы. Поскольку критические точки при этом стремятся получить при очень медленном нагреве или охлаждении сплава, т. е. для равновесного состояния, диаграммы состояния также называются еще и диаграммами равновесия.

По диаграмме состояния можно для конкретного сплава определить температуры кристаллизации и превращений в твердом состоянии и структуру при заданной температуре, что позволяет примерно оценить механические, физические и химические свойства сплава и правильно назначать режимы термической обработки, обработки давлением, сварки и т. п.

Диаграммы состояний многих технических сплавов имеют сложный вид, но в большинстве случаев они могут быть сведены к нескольким простейшим диаграммам.

Диаграмма состояния для случая кристаллизации механической смеси чистых компонентов. Построение такой диаграммы показано на рис. 28.

Компонентами A и B , составляющими рассматриваемый сплав, могут служить как чистые элементы, так и химические соединения. Кривые охлаждения компонентов и сплавов разных составов изображены на рис. 28 слева и справа от диаграммы. В отличие от чистых компонентов все сплавы за небольшим исключением кристаллизуются в интервале температур (кривые 2 и 4).

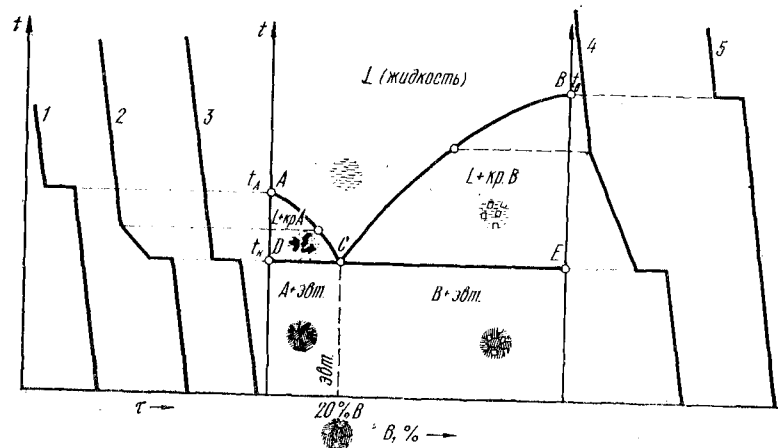


Рис. 28. Кривые охлаждения, схемы микроструктуры и диаграмма состояния сплавов — механических смесей чистых компонентов

Причем вначале кристаллизуется только один из компонентов, так как совместная кристаллизация компонентов в случае образования механической смеси возможна только при строго определенной их концентрации в расплаве. Допустим, что в рассматриваемом случае такой особой концентрацией является 20% компонента B (кривая 3). При такой концентрации совместная кристаллизация протекает при постоянной температуре аналогично кристаллизации чистого компонента.

В сплавах, отличных по составу от сплава с 20% B , сначала кристаллизуется только один из компонентов: A — в том случае, если концентрация сплава менее 20% B (кривая 2), и B — если концентрация сплава более 20% B (кривая 4). По мере охлаждения сплава и кристаллизации избыточного компонента состав его жидкой фазы все более приближается к той концентрации, при

которой возможна одновременная кристаллизация обоих компонентов, т. е. к 20% B . Такая концентрация достигается при температуре t_k , т. е. в конце кристаллизации.

Таким образом, процесс кристаллизации любого сплава данной системы окончится одновременным образованием кристаллов вещества A и B . При совместной кристаллизации вещество A , составляющее в кристаллизующейся жидкой фазе 80%, будет располагаться вокруг центров кристаллизации вещества B и замедлять их рост, тормозя диффузию вещества B к центрам кристаллизации. В результате образуется дисперсная смесь мельчайших дендритов вещества B и кристаллов вещества A , в толще которого они залегают. Такие смеси называются *эвтектиками*, представляющими собой сплавы, образовавшиеся в результате одновременной кристаллизации различных компонентов при постоянной температуре. Эвтектики имеют постоянный химический состав и наинизшую температуру кристаллизации для данной системы сплавов. Кривая кристаллизации эвтектического сплава будет выглядеть так же, как и кривая кристаллизации чистого компонента (сравни кривые 1 и 3 на рис. 28).

В сплавах заэвтектических, содержащих более 20% B , сначала кристаллизуется компонент B (кривая 4). При понижении концентрации компонента B в жидкой фазе до 20% в кристаллизацию вступает также и компонент A , что приводит к образованию эвтектики.

Критические точки начала и конца кристаллизации переносят с кривых охлаждения на диаграмму, где по оси ординат нанесена температура, а по оси абсцисс — состав сплава. Затем точки начала и конца кристаллизации соединяются плавными линиями и получают диаграмму состояния. Эта диаграмма изображена в центре рис. 28. Там же показаны структуры различных сплавов, получающихся при кристаллизации в соответствии с данным типом диаграммы. Верхняя ломанная линия ACB соответствует началу кристаллизации и называется линией ликвидуса, нижняя горизонтальная линия DCE , соответствующая концу кристаллизации, — линией солидуса. Выше линии ликвидуса сплавы находятся в жидком состоянии. Между линиями ликвидус и солидус идет процесс кристаллизации, и сплавы состоят из твердой и жидкой фаз. Ниже линии солидус сплавы состоят из раз-

личных твердых фаз. *Фазой* называется часть системы, в данном случае сплава, отграниченной от других частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую строение или состав вещества резко изменяются. Таким образом, кристаллы вещества *A* будут одной фазой, а вещества *B* — другой, и все сплавы данной системы будут в твердом состоянии двухфазными сплавами.

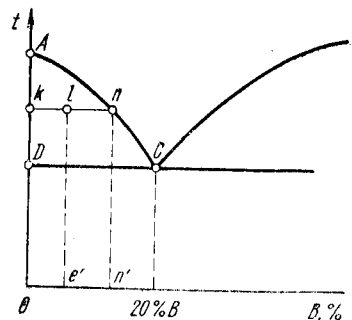


Рис. 29. Анализ диаграммы состояния при помощи правила отрезков

Характерным элементом структуры сплавов механических смесей, как указывалось ранее, является наличие эвтектики. Поскольку эвтектика возникает при температуре, соответствующей линии *DCE*, то эту линию и называют эвтектической. Сплавы, близкие по составу к эвтектическому, широко применяются в технике благодаря их низкой температуре плавления. Так, сплавы олова и свинца эвтектического состава применяются в качестве припоев при пайке металлов. Лучшие литейные сплавы различных металлов по составу являются также эвтектическими.

Сплавы доэвтектические и заэвтектические имеют две структурные составляющие: одна из них — эвтектика, а вторая или структурно свободный компонент *A* (у доэвтектоидных сплавов), или структурно свободный компонент *B* (у заэвтектоидных сплавов). Чем дальше сплав по составу от эвтектического, тем меньше в нем эвтектики и тем больше температурный интервал затвердевания такого сплава.

Количество и состав фаз в процессе кристаллизации можно определить по правилу *отрезков*. Для определения химического состава фаз через характеризующую сплав точку проводят горизонтальную прямую до пересечения с ближайшими линиями диаграммы; при этом проекция точек пересечения на ось абсцисс укажет химический состав фаз. Число фаз будет обратно пропорционально отрезкам, заключенным между точкой, харак-

теризующей сплав, и линиями диаграммы. Так, на рис. 29 проекция точки *k* укажет состав твердой фазы; в данном случае это будет чистый компонент *A*. Проекция точки *n* укажет состав жидкой фазы. Относительные количества этих фаз будут определяться отношением отрезков *kl* и *nl*:

$$\frac{Q_{тв}}{Q_{ж}} = \frac{nl}{kl},$$

где $Q_{тв}$ — масса твердой фазы,
 $Q_{ж}$ — масса жидкой фазы.

Диаграмма состояния для случая неограниченной растворимости компонентов в твердом состоянии. В случае растворимости компонентов в твердом состоянии каждый кристалл строится совместно атомами обоих веществ и поэтому в результате кристаллизации получается сплав, состоящий из однотипных кристаллов твердого раствора заданной концентрации. На кривых кристалли-

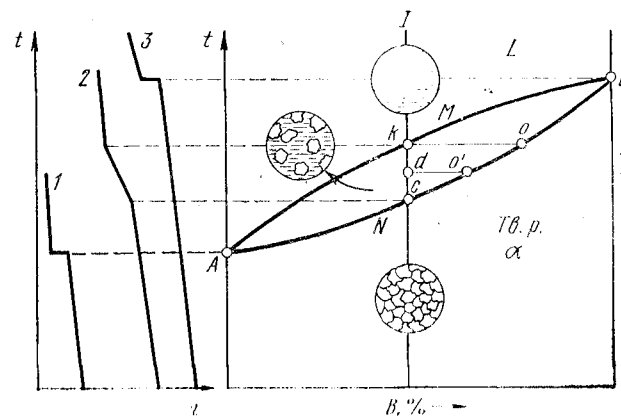


Рис. 30. Кривые охлаждения, схемы микроструктур и диаграмма состояния сплавов — неограниченных твердых растворов

зации отсутствует площадка, соответствующая образованию механической смеси, а температуры кристаллизации сплавов лежат между температурами кристаллизации исходных компонентов (рис. 30). При перенесении критических точек с кривых охлаждения на координатную плоскость диаграммы линии ликвидус (*AMB*) и солидус (*ANB*) получаются наклонными, что свидетельст-

вует о том, что в процессе кристаллизации меняется состав не только жидкой фазы, но и твердой. Действительно, при кристаллизации, например сплава *I*, возникающие вначале центры кристаллизации по составу будут соответствовать точке *o*, при понижении температуры следующие слои зерна будут иметь уже концентрацию, соответствующую точке *o'*, и т. д. Только в конце кристаллизации (точка *c*) состав кристаллов твердого раствора будет полностью соответствовать концентрации сплава *I*. Однако при быстром охлаждении неоднородность по объему зерна, возникшая в процессе кристаллизации, может сохраниться. Такая неоднородность, называемая дендритной ликвацией, в большинстве случаев явление нежелательное. Так, например, изменение химического состава вблизи границ зерен вследствие дендритной ликвации может привести к межкристаллитной коррозии у хромоникелевых сталей.

Ниже линии солидус (*ANB*) все сплавы данной системы состоят из кристаллов твердого раствора различной концентрации.

Неограниченная растворимость в твердом состоянии встречается сравнительно редко, так как для ее существования требуется, чтобы кристаллические решетки взаимодействующих компонентов были одинаковыми по форме и близкими по размерам, так же как и диаметры атомов или ионов. Значительно чаще при образовании сплавов приходится встречаться с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии.

Диаграмма состояния сплавов для случая ограниченной растворимости в твердом состоянии. На рис. 31 представлена диаграмма состояния компонентов *A* и *B*, обладающих ограниченной растворимостью. При кристаллизации компонент *B* размещается в решетке компонента *A* в атомарном (ионизированном) виде с образованием твердого раствора α с максимальной концентрацией, соответствующей точке *E* при температуре t_1 . В том случае, если компонент *A* в решетке компонента *B* размещаться не может, область твердого раствора со стороны компонента *B* отсутствует. В левой части диаграммы линия солидус *AE* будет наклонной, что соответствует формированию твердого раствора. За пределом насыщения (точка *E*), когда появляется вторая фаза (компонент *B*) и образуется эвтектика, линия солидус становится гори-

зонтальной. Таким образом, диаграмма состояния с ограниченной растворимостью сочетает в себе два предыдущих типа диаграмм. Поскольку предел насыщения меняется с изменением температуры, концентрация α твердого раствора при комнатной температуре будет меньше, чем в точке *E*. Все сплавы с концентрацией компонента *B* меньшей, чем в точке *E'*, при кристаллизации образу-

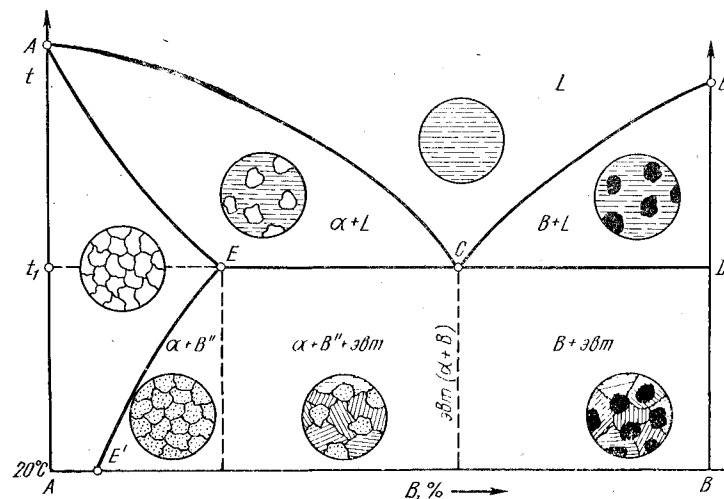


Рис. 31. Схемы микроструктуры и диаграммы состояния сплавов с ограниченной растворимостью

ют пересыщенные α -твердые растворы и при охлаждении ниже линии солидус не имеют структурных превращений.

Сплавы, находящиеся по концентрации между точками *E* и *E'*, при охлаждении имеют структурные превращения, заключающиеся в образовании в зернах или по границам α -твердого раствора вторичных кристаллов элемента *B*. Эти кристаллы начинают появляться при охлаждении сплава до линии изменения предела насыщения *EE'*, когда α -кристаллы становятся уже пересыщенными для заданной температуры. При концентрациях элемента *B*, больших чем предел насыщения (точка *E*), образуются сплавы либо с избыточным содержанием кристаллов твердого раствора α (доэвтектические),

Глава II МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ НАГРУЖЕНИИ И ДЕФОРМИРОВАНИИ МЕТАЛЛОВ

В зависимости от условий нагружения механические испытания подразделяются на статические, динамические и на испытания при переменных нагрузках.

Основными явлениями, определяющими поведение металлов под нагрузкой, являются деформация и разрушение. Деформация, которая исчезает при снятии нагрузки, называется *упругой*. Деформация, сохраняющаяся после разгрузки, называется *пластической*. Если перед разрушением данного материала происходит значительная пластическая деформация, то такой материал называется пластичным; если же пластическая деформация перед разрушением отсутствует, материал называется хрупким.

Пластическое деформирование сопровождается не только изменением формы, но и изменением структуры металла, которое заключается в вытягивании зерен и измельчении блочной структуры. Деформирование отдельного кристалла под действием напряжений происходит путем относительного смещения некоторых объемов зерна по кристаллографическим плоскостям. В результате смещения и поворотов отдельных частей зерен все зерна в поликристаллическом металле вытягиваются вдоль направления деформирования, образуя при больших степенях деформации направленную структуру (текстуру). При формировании такой направленной или волокнистой структуры металл становится неравнопрочным: прочность поперек волокон будет меньше прочности вдоль волокон.

В реальном кристалле атомы располагаются правильно лишь в пределах небольших участков — блоков, которые повернуты один относительно другого на небольшие углы в пределах нескольких минут. Блоки обычно состоят из 1000—10000 атомов. На границах блоков возникают нарушения в правильности расположения атомов, т. е. образуется система дислокаций.

либо с избыточным содержанием кристаллов чистого компонента B (заэвтектические). Сплав, соответствующий по концентрации точке C , имеет полностью эвтектическое строение.

Диаграмма состояния сплавов для случая образования химического соединения. Возникающее химическое соединение, если оно стойкое и не разлагается вплоть до

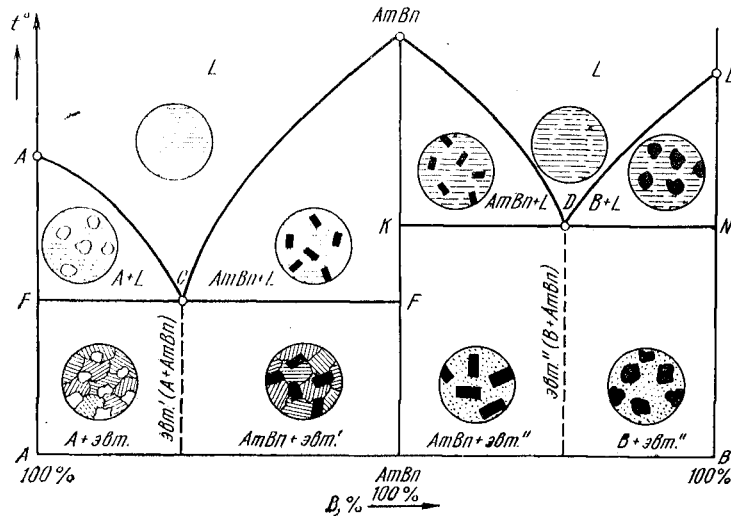


Рис. 32. Схемы микроструктур и диаграмма состояния сплавов с химическим соединением

температуры плавления, ведет себя в процессе кристаллизации так же, как и чистый компонент. Вид диаграммы состояния в этом случае будет зависеть от того, как образующееся химическое соединение взаимодействует с исходными компонентами в процессе кристаллизации. На рис. 32 представлена диаграмма для случая отдельной кристаллизации химического соединения и исходных компонентов. Для анализа такой диаграммы ее удобно мысленно разделить на две диаграммы: диаграмму компонента A и химического соединения $AmBn$ и диаграмму компонента B и химического соединения $AmBn$. Эвтектики в точках C и D состоят из кристаллов химического соединения и элементов A (левая часть диаграммы) или B (правая часть диаграммы).

При деформировании под действием напряжений блочная структура измельчается, что приводит к значительному увеличению плотности дислокаций и резкому возрастанию внутрикристаллических и межкуристаллических напряжений III и II рода). Все это приводит к повышению твердости, пределов прочности, текучести и упругости и уменьшению пластичности деформированного материала. Упрочнение металла при пластической деформации называется наклепом.

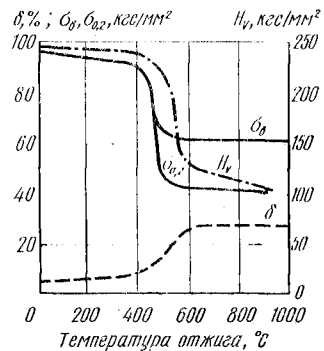


Рис. 33. Изменение механических свойств деформированной углеродистой стали при нагреве

рекристаллизацией. При этом меняются и механические свойства металла: снижается твердость, прочность и возрастает пластичность (рис. 33). Температура, при которой восстанавливаются прежние свойства, называется температурой начала рекристаллизации: $T_p = \alpha T_{пл}$, где $T_{пл}$ — температура плавления, α — коэффициент, зависящий от состава и структурного состояния материала. Для технически чистых металлов этот коэффициент равен примерно 0,4, а для сплавов — твердых растворов 0,5—0,6.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ

Твердостью называют свойство материала оказывать сопротивление при контактном приложении нагрузки. Определение твердости заключается во вдавливании в материал при определенной нагрузке наконечника, сделанного из значительно более твердого материала, чем

испытуемый, и последующего измерения площади или глубины отпечатка.

Твердость по Бринеллю определяется путем вдавливания в поверхность изделия закаленного шарика. Число твердости по Бринеллю HB представляет отношение нагрузки, действующей на шарик, к площади отпечатка. Прибором Бринелля пользуются для определения твердости структурно неоднородных материалов, таких как чугун, некоторых цветных металлов, а также для определения твердости незакаленной стали. Нагрузки и шарик, применяемые на приборе Бринелля, сравнительно велики. Так, максимальная нагрузка равна 3000 кг, а диаметр шарика 10 мм.

Твердость по Роквеллу определяется вдавливанием алмазного конуса или стального закаленного шарика и оценивается глубиной их проникновения в поверхность металла. Числа твердости по Роквеллу обозначаются индексами HRC при использовании алмазной пирамиды и HRB для закаленного шарика и представляют собой условные единицы, связанные с глубиной проникновения наконечника в металл следующим образом:

$$HRC = 100 - h/0,002,$$

где первая цифра означает число делений на шкале прибора; h — глубину проникновения наконечника, мм; 0,002 — цену деления на измерительной шкале.

Стальной шарик применяется для измерения твердости сравнительно мягких материалов с твердостью до HB 240, алмазный конус — для твердых материалов с твердостью до HB 700.

3. ИСПЫТАНИЯ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Характеристики статической прочности могут определяться при растяжении, сжатии, кручении и изгибе на специальных образцах, форма и размер которых предусмотрены соответствующими ГОСТами.

Наиболее распространенным видом статических испытаний является испытание на растяжение, позволяющее определять следующие характеристики: условный предел упругости ($\sigma_{0,005}$), физический и условный пределы текучести (σ_T и $\sigma_{0,2}$), предел прочности (σ_B), истинное сопротивление разрыву (S_R), относительное удлине-

ние (δ , %) и относительное сужение (ψ , %) после разрыва.

Форма образцов, применяемых для испытаний на растяжение, и кривая деформации металла представлены на рис. 34. Прямолинейный начальный участок кривой соответствует упругой деформации образца. Заметный рост пластической деформации наблюдается за пределом текучести. Условным пределом текучести считают

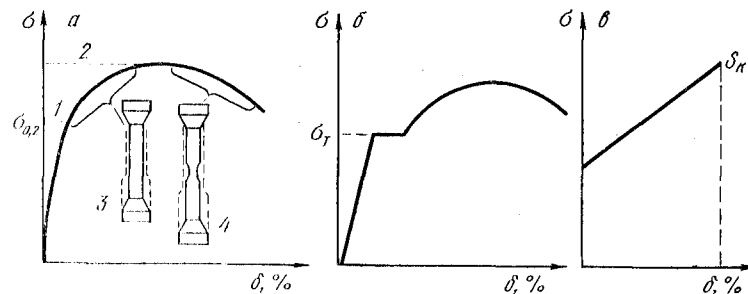


Рис. 34. Диаграммы условных и истинных напряжений при растяжении:
 а — с условным пределом текучести; б — с физическим пределом текучести;
 в — диаграмма истинных напряжений; 1 — условный предел текучести при остаточной деформации 0,2%; 2 — предел прочности; 3 — равномерная деформация; 4 — деформация с образованием шейки

напряжение, вызывающее некоторую заданную остаточную деформацию. Наиболее часто величина такой остаточной деформации принимается равной 0,2% от начальной длины образца. Аналогично определяется и условный предел упругости, только допуск на пластическую деформацию для него берется значительно меньшим, например 0,005%.

В случае, когда на кривой деформации имеется горизонтальный участок (рис. 34, б), напряжение, соответствующее этому участку, называется физическим пределом текучести.

По мере удлинения образца напряжение, необходимое для его пластического деформирования, возрастает, а площадь поперечного сечения уменьшается равномерно по всей длине образца (рис. 41, а).

У пластичных материалов при некотором напряжении деформация становится локальной и сосредоточивается преимущественно в средней трети образца, на об-

разце возникает так называемая шейка (рис. 34, а, позиция 4). Напряжение, соответствующее появлению шейки, и является пределом прочности. Поскольку его принято определять как отношение нагрузки к первоначальной площади сечения образца: $\sigma_n = P_n / F_0$, то при образовании шейки создается впечатление снижения напряжений при продолжении деформирования образца. Однако если напряжения определять по истинной площади поперечного сечения в шейке, то истинные напряжения при деформировании будут возрастать вплоть до разрушения образца (рис. 34, в).

Для малопластичных и хрупких материалов, у которых сосредоточенная деформация отсутствует, пределом прочности считается напряжение, вызывающее разрушение образца.

Хрупкие металлы и неметаллические материалы, как правило, испытывают на сжатие или изгиб.

4. ИСПЫТАНИЯ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Величина пластической деформации, которую претерпевает металл перед разрушением, зависит не только от природы этого металла, но и от ряда других факторов: скорости приложения нагрузки, температуры испытания и формы образца. Чем больше скорость приложения нагрузки, тем меньше пластическая деформация и выше предел текучести материала.

Наиболее часто для выявления склонности материала к хрупкому разрушению применяют динамические испытания на ударный изгиб. Динамическая прочность материала оценивается величиной удельной ударной вязкости a_n , которая определяется следующим образом:

$$a_n = \frac{A_n}{F}$$

где A_n — работа удара, затраченная на разрушение образца,

F — площадь поперечного сечения образца.

Склонность металла к хрупкому разрушению зависит также от температуры. Критическая температура хрупкости соответствует температуре перехода металла от вязкого разрушения к хрупкому и обратно. Для определения этой температуры проводят серию ударных испы-

таний при различных температурах и результаты оформляют в виде графика, представленного на рис. 35. Участок 2 на кривой соответствует критическому температурному интервалу хрупкости, при температурах выше верхней границы интервала (T_B) металл будет вязким, а ниже нижней границы (T_H) — хрупким.

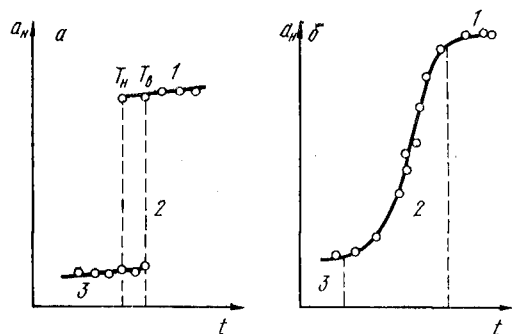


Рис. 35. Изменение ударной вязкости в зависимости от температуры:

a — резкое; b — постепенное; 1 — вязкий излом; 2 — смешанный излом; 3 — хрупкий излом

5. ИСПЫТАНИЯ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ

Детали машин, сделанные даже из очень пластичного металла, могут быть склонны к внезапному хрупкому разрушению, если они работают при переменных нагрузках. Явление разрушения металла при переменных нагрузках, меньших по величине, чем предел прочности, называется усталостью металла. При переменных нагрузках смещение кристаллографических плоскостей носит локальный характер и происходит в ослабленных объемах. Это приводит к возникновению местного скольжения при небольших нагрузках. В кристаллической решетке возникают местные искажения, постепенно нарастающие и приводящие к разрыву межатомных связей по плоскостям скольжения. Возникающие субмикроскопические трещины, являясь концентраторами напряжений, постепенно разрастаются и в конце концов приводят к разрушению при практически полном отсутствии заметной макропластической деформации.

Испытания на усталость позволяют определить предел выносливости, т. е. наибольшее повторно-переменное напряжение, которое материал выдерживает без разрушения в течение заданного числа циклов (база испытаний). Этот вид испытаний может производиться при изгибе, растяжении-сжатии, кручении, нормальных, повышенных и пониженных температурах, а также в агрессивных средах. Наиболее распространены испытания при изгибающей нагрузке. Соотношение между пределом выносливости при симметричном цикле и пределом прочности для углеродистой стали имеет вид:

$$\sigma_{-1} = 0,6\sigma_B.$$

Глава III

УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ И ЧУГУНЫ

Железо и его сплавы — стали и чугуны — являются основными материалами, используемыми в машиностроении и вообще в современной технике. Высокая прочность, хорошая пластичность, возможность изменять свойства в широких пределах путем легирования и термической обработки в сочетании с хорошей обрабатываемостью делают сплавы железа самым универсальным материалом. Свойства сталей и чугунов и возможности их применения и обработки определяются внутренним строением. Начало изучению строения сплавов железа с углеродом было положено трудами основателя металловедения Д. К. Чернова, который первым установил связь между температурами превращения в стали и ее составом, что послужило основой для построения диаграммы железо — углерод.

1. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗА С УГЛЕРОДОМ

Вид линий диаграммы железо — углерод зависит от типа образующихся в процессе кристаллизации фаз и от того, какие превращения происходят при охлаждении твердого сплава. Поскольку углерод обладает способностью в атомарном виде размещаться в кристаллической решетке железа, при затвердевании расплава могут об-

разовываться твердые растворы внедрения на основе решеток двух высокотемпературных модификаций железа δ -железа и γ -железа (гл. I, стр. 62), которые соответственно обозначаются как δ и γ -твердые растворы. Если углерода менее 0,5%, то вначале из расплава кристаллизуется δ -твердый раствор, который при дальнейшем охлаждении перекристаллизовывается в γ -твердый раствор. В сплавах, содержащих углерода более 0,5%, из расплава сразу кристаллизуется γ -твердый раствор. Поскольку γ -железо, так же как и δ -железо, не может существовать при низких температурах, при охлаждении γ -твердый раствор превращается в твердый раствор на основе α -железа, т. е. в α -твердый раствор. Таким образом, в сплавах железа с углеродом могут присутствовать кристаллы трех твердых растворов δ , γ и α , образующихся на основе трех аллотропических модификаций чистого железа; α -твердый раствор называется ферритом, он может содержать углерода не более 0,02% и по свойствам близок к чистому железу. Феррит мягок, его твердость равна примерно *HV* 60—80, и пластичен; относительное удлинение феррита достигает 50%.

γ -твердый раствор называется аустенитом и может содержать углерода до 2,14%. Аустенит также отличается невысокой твердостью и хорошей пластичностью. Аустенит всегда немагнитен и, как и феррит, имеет высокую коррозионную стойкость. Микроструктуры аустенита и феррита показаны на рис. 38, а и б.

Помимо твердых растворов, железо с углеродом могут образовывать химическое соединение — карбид железа Fe_3C , называемый цементитом. Цементит — вещество хрупкое и очень твердое; твердость цементита более *HV* 800, т. е. выше твердости закаленной стали.

Концентрация углерода в цементите составляет 6,67%. При затвердевании сплавов железа с углеродом углерод может кристаллизоваться как в связанном (в виде цементита), так и в свободном виде (в виде графита). В зависимости от характера кристаллизации углерода диаграмма железо — углерод разделяется на диаграммы железо — цементит и железо — графит.

Диаграмма железо — цементит показана на рис. 36. Линии, образующие небольшие треугольники в левом верхнем углу, связаны с аллотропическим превращением железа и перекристаллизацией δ -твердого раствора

Сплавы железа с углеродом, содержащие менее 2% С, называются сталями. Все стали при высоких температурах имеют структуру аустенита и их свойства, следовательно, определяются свойствами аустенита. Так, поскольку аустенит обладает хорошей пластичностью, стали легко обрабатываются давлением при повышенных температурах. Когда же содержание углерода превышает 2,14% и в структуре появляется твердая и хрупкая ледебуритная эвтектика, обрабатываемость сплавов давлением становится невозможной.

Понижение температуры вызывает ряд превращений аустенита, вследствие которых он перестает существовать. Превращения протекают различно в зависимости от содержания углерода в сплаве. Если сталь содержит менее 0,8% С (сплав *aa'*, например), то при охлаждении до температуры, соответствующей линии *GOS*, начинается перекристаллизация аустенита и образование кристаллов феррита. Точка *G* на температурной оси чистого железа соответствует температуре аллотропического перехода γ -железа в α -железо (910°С). Увеличение концентрации углерода в решетке железа приводит к снижению температуры аллотропического превращения, что отображается кривой *GOS*. По мере охлаждения сплава количество кристаллов феррита увеличивается, а аустенита — уменьшается. Одновременно увеличивается концентрация углерода в кристаллах аустенита, что можно определить, применив правило отрезков. При температуре 727°С концентрация углерода в аустените достигнет 0,8%.

При охлаждении сплава, содержащего углерода более 0,8% (например, сплав *bb'*), до температуры, соответствующей кривой *ES*, из аустенита начнут выделяться кристаллы вторичного цементита (название «вторичный» указывает на происхождение цементита из твердой фазы). Предел насыщения аустенита углеродом при температуре 1147°С равен 2,14% С (точка *E*). Чем ниже температура, тем меньшее количество углерода содержит аустенит. Линия *ES* показывает изменение предела насыщения аустенита углеродом в зависимости от температуры. Чем ниже температура сплава, тем больше в нем цементита и тем ниже концентрация углерода в аустените. При температуре 727°С концентрация углерода в аустените составит 0,8%.

В аустените с концентрацией углерода 0,8% (сплав бб') при охлаждении до 727° С одновременно происходит и образование феррита вследствие аллотропического превращения и образование цементита, поскольку углерод уже не может находиться в решетке железа в прежнем количестве.

Образование смеси феррита с цементитом происходит по тем же законам, что и образование эвтектической смеси, с тем различием, что в данном случае дисперсная смесь разнотипных кристаллов возникает из твердого, а не из жидкого раствора; поэтому такая механическая смесь называется эвтектоидом. Эвтектоид, состоящий из феррита и цементита, называется перлитом. Поскольку при охлаждении сталей, содержащих как больше, так и меньше 0,8% С, аустенит приобретает при 727° С одну и ту же концентрацию, а именно 0,8% С, то естественно что такой аустенит также превратится в перлит. Таким образом, при охлаждении все сплавы будут содержать перлит, за исключением тех, содержание углерода в которых не превышает 0,02% С и которые относятся к небольшой ферритной области в левой части диаграммы.

Подобным же образом превращения будут происходить в сплавах, лежащих правее точки E, т. е. в чугунах. При охлаждении с температуры 1147° С до 727° С концентрация углерода в избыточном аустените (не входящем в эвтектику) и в аустените эвтектическом будет меняться в соответствии с линией ES. В результате образуются кристаллы цементита вторичного, а концентрация углерода в аустените понизится до 0,8% при температуре 727° С, т. е. аустенит приобретет перлитную концентрацию и превратится в эвтектоид. Линия PSK, проходящая на диаграмме при температуре 727° С, соответствующей образованию перлита, называется перлитной линией. Точки C и S, в которых весь объем сплава превращается в эвтектику либо в эвтектоид, называются эвтектической (C) и эвтектоидной (S) точками.

2. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Углеродистая сталь по строению разделяется на эвтектоидную, доэвтектоидную и заэвтектоидную. Кривые охлаждения этих сталей и фотографии их микроструктур

представлены на рис. 37 и 38. Верхние критические точки на кривых соответствуют началу и концу кристаллизации.

Эвтектоидная сталь при охлаждении в твердом состоянии имеет только одну критическую точку — перлитную (рис. 37, б точка 2) и при комнатной температуре целиком состоит из перлита. Основная масса кристаллов в перлите представляет собой феррит, в котором располагаются кристаллы цементита (примерно 12%). Форма цементитных кристаллов может быть пластинчатой и зернистой (рис. 38, в и г). Изменение формы цементитных включений оказывает существенное влияние на механические свойства стали. Так, зернистый перлит несколько мягче и примерно в два раза пластичнее, чем перлит пластинчатый.

Доэвтектоидная сталь, содержащая углерода менее 0,8%, в твердом состоянии имеет две критические точки (рис. 37, а). Верхняя критическая точка (1) — начало аллотропического перехода аустенита в феррит, нижняя (2) — конец аллотропического перехода и образование перлита. Следовательно, при комнатной температуре доэвтектоидная сталь будет состоять из кристаллов феррита и перлита, причем с увеличением количества углерода количество перлита в стали будет возрастать (рис. 38, д, е, ж).

Заэвтектоидная сталь, содержащая углерода более 0,8%, в твердом состоянии также имеет две критические точки. Верхняя критическая точка (1) соответствует началу образования вторичного цементита вследствие уменьшения предела насыщения, нижняя — образованию перлита. Избыточный цементит обычно располагается по границам зерен в виде светлых полос, обрамляющих перлитные участки (рис. 38, з). На рис. 39 показано изменение свойств стали в зависимости от содержания углерода. Увеличение количества углерода приводит

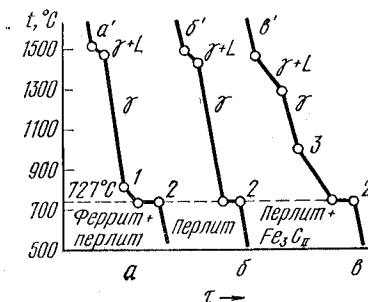


Рис. 37. Кривые охлаждения углеродистых сталей:

а — доэвтектоидная; б — эвтектоидная; в — заэвтектоидная

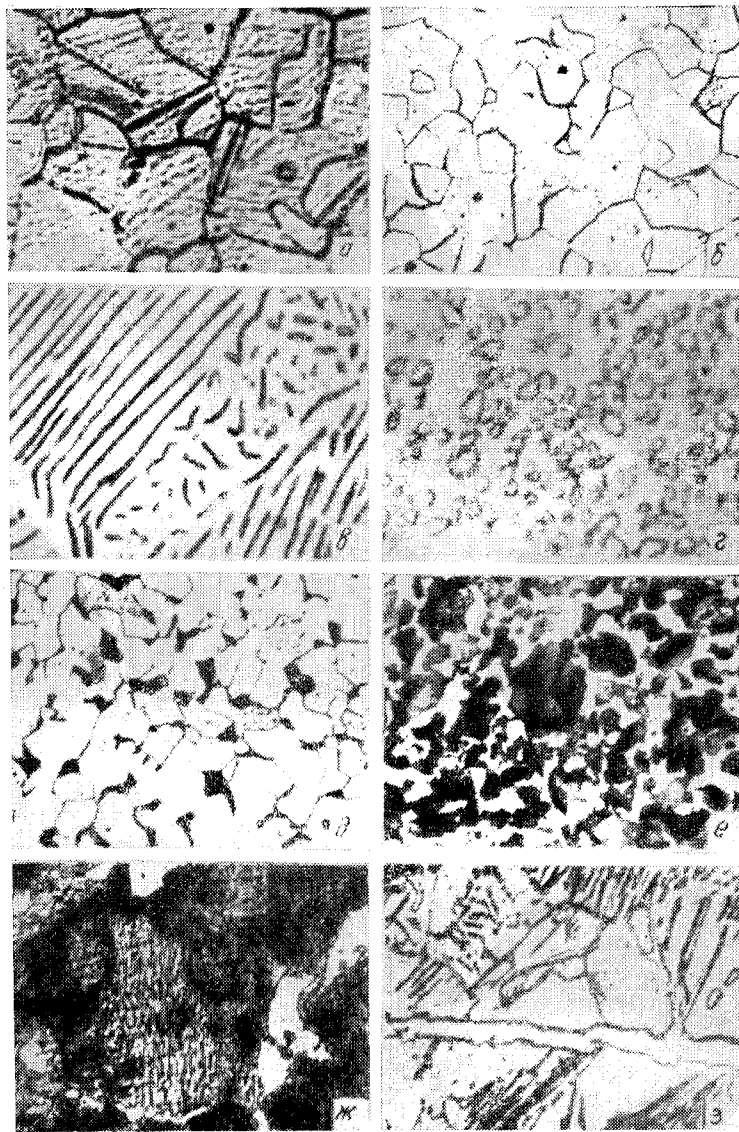


Рис. 38. Микроструктуры железа и углеродистых сталей, $\times 500$:
 а — аустенит; б — феррит; в — перлит пластинчатый; з — перлит зернистый;
 д — сталь с 0,25% С; е — сталь с 0,45% С; ж — сталь с 0,65% С; з — сталь с 1,5% С

к увеличению количества цементита и перлита и, как следствие, к повышению твердости и снижению пластичности стали (кривые HV , ψ и δ). Предел прочности возрастает до содержания углерода 0,8—0,9%, а затем начинает снижаться (пунктирный участок кривой). Прочность заэвтектоидной стали снижается вследствие

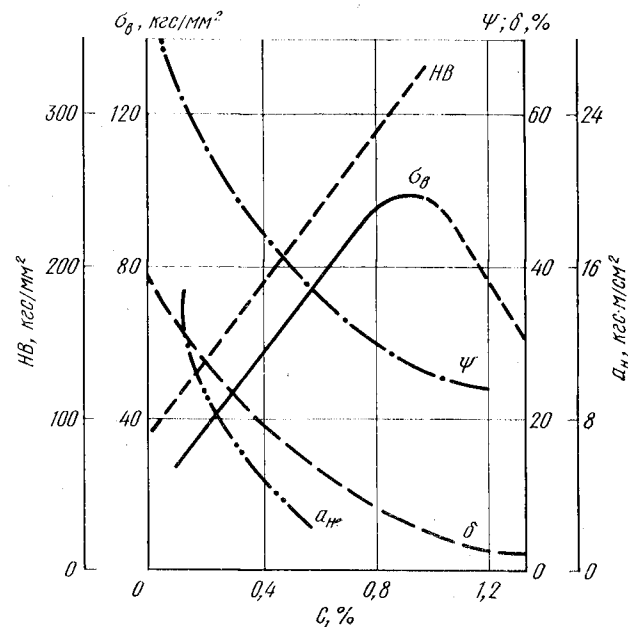


Рис. 39. Влияние углерода на механические свойства стали

образования цементитной сетки вокруг зерен перлита, и увеличения хрупкости стали. Величина ударной вязкости сильно зависит от количества феррита в стали. Как видно на рис. 38, ж, при уменьшении содержания углерода до 0,6% количество феррита резко уменьшается, что и приводит к падению ударной вязкости ниже допустимого уровня для конструктивной стали (3—4 кгс·м/см²), рис. 39. Именно поэтому граница по углероду между конструкционными и инструментальными сталями составляет 0,65% С.

Кроме углерода, сталь содержит небольшие количества марганца, кремния, серы и фосфора. Их содер-

жание в стали находится в следующих пределах: 0,3—0,7% Mn; 0,2—0,4% Si; 0,01—0,05% P; 0,01—0,05% S.

В указанных количествах марганец и кремний существенного влияния на структуру и свойства стали не оказывают. Фосфор и сера, как известно, вызывают повышенную хрупкость стали и поэтому их присутствие в стали нежелательно.

По назначению углеродистые стали разделяются на конструкционные и инструментальные. Как указывалось, углеродистая конструкционная сталь, как правило, содержит не более 0,65% С. До 0,85% С содержат только те конструкционные стали, которые применяются для изделий с повышенным пределом упругости (рессоры, пружины и т. п.).

Таблица 1
МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА СТАЛИ
ГРУППЫ А

Марка стали	$\sigma_{в}$, кгс/мм ²	δ , %
Ст0	32	22
Ст3	38—47	27—25
Ст5	50—62	21—19
Ст7	70—75	11—10

Конструкционную углеродистую сталь подразделяют на сталь обыкновенного качества и сталь качественную.

Сталь обыкновенного качества применяют для изготовления арматуры, строительных сооружений и деталей машин, работающих при сравнительно

небольших, преимущественно статического характера, нагрузках. В зависимости от гарантируемых характеристик она подразделяется на три группы: А, Б и В.

Сталь группы А поставляют по механическим свойствам и маркируют буквами «Ст» и порядковым номером; химический состав этой группы сталей не гарантируется. Механические свойства некоторых марок представлены в табл. 1.

В марочные обозначения могут входить еще дополнительные буквы, например: СтЗсп, СтЗкп и СтЗпс. Буквы «сп» означают спокойную сталь, т. е. полностью раскисленную, буквы «кп» — кипящую, т. е. не полностью раскисленную. Сталь промежуточного типа — полуспокойную, обозначают буквами «пс».

Сталь группы Б поставляют по химическому составу. Первая буква в маркировочном обозначении указывает способ производства стали: М — мартеновский, К — конверторный. Например, МСтЗ, КСт5 и т. п.

Сталь группы В поставляют с гарантируемыми механическими свойствами и химическим составом. В настоящее время изготавливают следующие марки этой группы сталей: мартеновскую — от ВМСт2 до ВМСт5 и конверторную — от ВКСт2 до ВКСт5.

Сталь качественная содержит меньше вредных примесей и имеет более высокие механические свойства, чем сталь обыкновенного качества. Поставляют такую сталь с гарантированными механическими свойствами и химическим составом и маркируют цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента: 08, 10, 15, 20 и т. д. В зависимости от химического состава сталь подразделяется на две группы: с нормальным содержанием марганца и с повышенным 0,7—1% (15Г, 20Г, 25Г и т. п.).

Стали марок 08—25 не подвергают термической обработке; их используют для цементации, они хорошо штампуются и свариваются. Эти стали служат для изготовления труб, конденсаторов, заклепок и т. п. Стали марок 30—55 применяют в основном в термически обработанном состоянии, после закалки и высокого отпуска. Процесс закалки и отпуска называется улучшением стали, поэтому эти марки углеродистой стали называются улучшаемыми, из них изготавливают шестерни, валы и другие ответственные детали. Стали марок 60—85 служат для изготовления пружин, рессор и прочих деталей. С этой же целью могут быть использованы марки 60Г, 65Г, 70Г.

Инструментальная углеродистая сталь качественная маркируется буквой «У» и цифрой, означающей содержание углерода в десятых долях процента, например: У7, У8 и т. д. Сталь высококачественная в конце маркировочного обозначения имеет букву «А»: У7А, У8А и т. д.

3. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ

Сплавы железа с углеродом, содержащие более 2% С, называются чугунами.

По структуре чугуны подразделяют на: 1) несодержащие графит (белые чугуны) и 2) с графитом, которые в свою очередь разделяются на серые литейные чугуны, высокопрочные чугуны с шаровидным графитом и ковкие чугуны.

Строение *белых чугунов* соответствует диаграмме железо — цементит. Чугун, содержащий 4% С (сплав *дд'*, рис. 36), по структуре представляет собой эвтектику (ледебурит), состоящую из цементита (65%) и аустенита. При охлаждении до температуры 727° С вследствие изменения кристаллической решетки железа и образования



Рис. 40. Микроструктура доэвтектического белого чугуна, $\times 100$

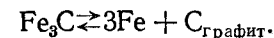
феррита возникает дисперсная смесь феррита с цементитом — перлит. Таким образом, при комнатной температуре ледебурит будет состоять из цементита и перлита, который расположится на месте бывших кристаллов аустенита (рис. 40). Формирование структуры доэвтектического чугуна (сплав *зз'*) начнется с образования в жидкой фазе аустенита. По мере охлаждения состав жидкой фазы будет меняться в соответствии с ходом линии ликвидус (участок *zC*, рис. 36) и при температуре 1147° С оставшаяся жидкость будет иметь эвтектическую концентрацию, т. е. 4,43% С. Такая жидкость на линии солидус превратится в эвтектику. Следовательно, при окончании кристаллизации белый чугун будет состоять из кристаллов структурно свободного аустенита и ледебурита. При понижении температуры из кристаллов аустенита вследствие уменьшения предела насыщения (линия *ES*, рис. 36) будет выделяться вторичный цементит, в результате концентрация углерода в аустените снизится до

эвтектоидной (0,8% С) и при температуре 727° С кристаллы аустенита превратятся в перлит. На рис. 40 большие темные участки соответствуют перлиту, возникшему на месте структурно свободного аустенита, мелкие темные участки — перлит, возникший из кристаллов эвтектического аустенита. Микроструктура заэвтектического чугуна, например сплав *еe'*, будет состоять из крупных светлых кристаллов структурно свободного первичного цементита и эвтектики.

Из-за высокой твердости белый чугун практически не обрабатывается резанием.

В машиностроении белый чугун применяется для получения ковкого чугуна путем графитизирующего отжига.

Серый литейный чугун является весьма распространенным видом чугуна в машиностроении благодаря дешевизне, хорошим литейным свойствам и хорошей обрабатываемости резанием. В структуре серого чугуна наряду с цементитом присутствует свободный углерод — графит. Графит в чугуне может проявляться как непосредственно в результате первичной или вторичной кристаллизации, так и в результате разложения ранее образовавшегося цементита:



На рис. 41 сплошные линии представляют диаграмму состояния системы железо — цементит, а пунктирные — системы железо — углерод. Это связано с тем, что углерод в сплавах может находиться в виде графита и цементита. Чем меньше скорость охлаждения чугуна, тем больше в нем графита и меньше цементита. Повышенное содержание углерода и кремния в чугуне способствует увеличению количества графита и величины графитных включений, а марганец, наоборот, способствует образованию и сохранению цементита; величину графитных включений марганец уменьшает. В сравнении со сталями чугун содержит значительно больше кремния и марганца.

Таким образом, при соответствующем химическом составе и очень медленном охлаждении чугуна в конце кристаллизации его структура будет состоять из аустенита и графита. Структура при комнатной температуре будет в основном определяться скоростью охлаждения

в районе перлитного превращения, т. е. при температурах вблизи 727° С. Сравнительно быстрое охлаждение приведет к образованию перлита из аустенита, и структура чугуна будет состоять из перлита и графита (рис. 42, а). При очень медленном охлаждении цементит, содержащийся в образовавшемся перлите, будет разлагаться с образованием графита и при полном его разложении структура чугуна будет состоять из феррита

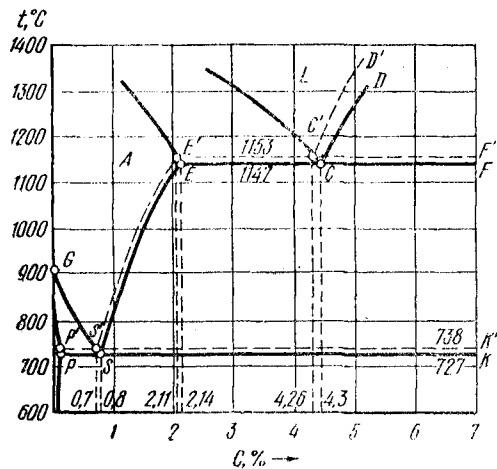


Рис. 41. Диаграмма состояния железо—графит (пунктирные линии)

и графита (рис. 42, б). В машиностроении в основном применяется перлитный серый чугун как более твердый и прочный. Маркируют серый литейный чугун буквами СЧ и цифрами, первая из которых означает предел прочности при растяжении, а вторая — предел прочности при изгибе. Например, чугун СЧ 12—28 имеет предел прочности при растяжении 12 кгс/мм², а при изгибе 28 кгс/мм².

Механическая прочность графита во много раз меньше прочности железа и поэтому с точки зрения механических свойств графитные включения можно рассматривать как микропустоты, а чугун как сталь, имеющую большое количество микротрещин. Графитные включения играют роль внутренних концентраторов напряжений и при приложении растягивающих усилий у оконча-

ния графитных включений могут возникнуть напряжения, превышающие предел прочности данного материала. В этом случае от графитного включения начнет развиваться трещина, приводящая по мере роста к разрушению детали. Поэтому предел прочности при растяжении у серого чугуна примерно в пять раз меньше, чем у стали. При сжимающих напряжениях края графитных включений как бы спрессовываются, их отрицательная

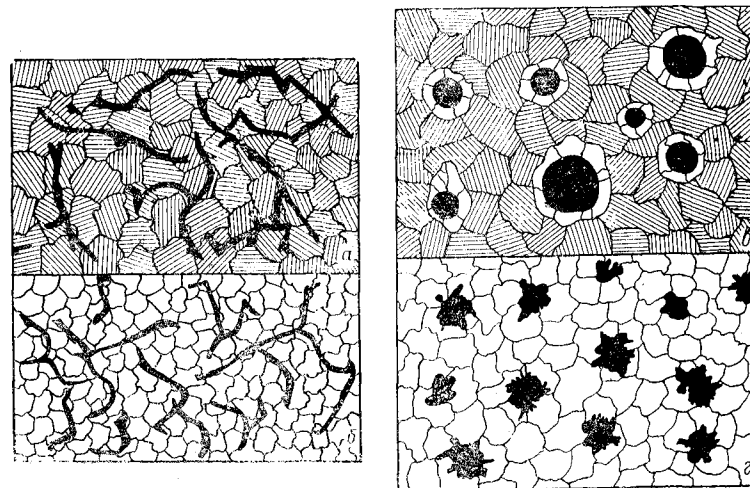


Рис. 42. Микроструктуры серых чугунов:

а — литейный перлитный; б — литейный ферритный; в — высокопрочный; г — ковкий

роль не проявляется и прочность чугуна оказывается такой же, что и у стали. Из-за большой хрупкости графита чугун плохо, либо вовсе не может работать при ударных нагрузках.

Однако присутствие графита обуславливает и ряд специфических достоинств чугуна: 1) сравнительно со сталью чугун имеет более низкий коэффициент трения благодаря смазывающему действию графита; 2) хорошо гасит вибрации и резонансные колебания и др.

Чем крупнее графитные включения и прямолинейней их форма, тем ниже прочность чугуна. Таким образом, для повышения механических свойств необходимо, чтобы

графитные включения были мелкими, искривленной формы и не соприкасались между собой. Наиболее радикально на графитные включения влияет процесс модифицирования чугуна.

Модификатор в виде порошка добавляется в жидкий чугун в количествах не более 1% (по массе). По характеру воздействия на процесс кристаллизации модификаторы разделяются на образующие дополнительные центры кристаллизации и на поверхностно активные вещества. К модификаторам первого типа относятся ферросилиций, силикокальций и алюминий. Будучи добавленными к жидкому чугуну, эти вещества образуют с углеродом, азотом, кислородом чугуна соединения, которые служат центрами кристаллизации графита, что приводит к измельчению графитных включений и повышению прочности чугуна при растяжении до 28 кгс/мм² и выше.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом получают также путем модифицирования. В этом случае для модифицирования применяют небольшие количества магния (0,4—0,6%). Магний, будучи поверхностно активным веществом, отлагается на поверхности растущих кристаллов графита и способствует их равномерному росту во всех направлениях, в результате чего графит приобретает шаровидную форму (рис. 42, в). Получение графита шарообразной формы приводит не только к увеличению прочности чугуна, но и к появлению заметной пластичности и уменьшению хрупкости. Маркировка ВЧ 60-2 означает — высокопрочный чугун с пределом прочности при растяжении 60 кгс/мм² и относительным удлинением 2%.

Ковкий чугун получают из белого чугуна при помощи графитизирующего отжига, для чего отливку из белого чугуна помещают в отжигательную печь, нагретую до 950—1000° С, и выдерживают в течение 3—4 суток. При отжиге цементит белого чугуна распадается с образованием хлопьевидного графита (рис. 42, г), что приводит к значительному возрастанию пластичности. Ковкий чугун можно получать с ферритной и перлитной основами. Перлитный ковкий чугун тверже, прочнее и более износостоек, чем ферритный. Однако на практике чаще применяется ферритный ковкий чугун, который обладает большей пластичностью и повышенной коррозионной стойкостью.

Таблица 2

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ

Материалы	Механические свойства				
	$\sigma_{в'}$ кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²	δ , %	$\sigma_{Н'}$ кгс·м/см ²	НВ
Сталь литая низкоуглеродистая . . .	36—46	20—30	19—25	6—18	121—143
Чугун:					
серый	12—38	—	0,25—1,2	0,2—0,6	140—350
ковкий	30—70	22—50	2—12	5—8	90—270
высокопрочный	40—80	24—60	2—10	1—8	150—300

Для получения чисто ферритной основы охлаждение в эвтектоидном интервале температур должно быть медленным. В этом случае аустенит эвтектоидной концентрации распадается на феррито-графитную смесь, и структура чугуна будет представлять собой ферритную основу с хлопьевидными включениями графита (рис. 42, г). При ускоренном охлаждении получается перлитная основа.

Маркируется ковкий чугун буквами «КЧ» и цифрами, первая из которых означает предел прочности при растяжении, а вторая относительное удлинение, например, КЧ 37-12.

Следует иметь в виду, что, хотя ковкий чугун и обладает пластичностью, она все же недостаточна, чтобы его можно было обрабатывать давлением.

Сравнительные механические характеристики стали и чугунов представлены в табл. 2.

Глава IV

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Целью термической обработки является изменение свойств сплава путем изменения его структуры в результате теплового воздействия. Сталь с низкой твердостью и прочностью после термической обработки может получить высокие прочностные характеристики, и наобо-

рот, твердая сталь, с трудом поддающаяся обработке, может стать мягкой и пластичной и иметь хорошую обрабатываемость. Повышая прочность сплава, термическая обработка позволяет уменьшить размеры и массу деталей и, тем самым, снизить материалоемкость производства при сохранении эксплуатационной надежности и долговечности деталей и конструкций. Под действием термической обработки меняются также химические и физические свойства сплава. Так, например, сталь может стать немагнитной или же, наоборот, коэрцитивная сила стали может значительно возрасти, может увеличиться или уменьшиться коррозионная стойкость стали и т. п.

1. ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ И ОХЛАЖДЕНИИ СТАЛИ

Основными видами термической обработки являются закалка, отпуск и отжиг. Большинство структурных изменений, имеющих место при термической обработке, непосредственно связано с процессами, описываемыми линиями диаграммы железо — углерод. Поэтому и режимы термической обработки в большинстве случаев связаны с положением этих линий.

В теории и практике термической обработки широко применяются условные обозначения критических точек (линий) диаграммы. Так, критические точки, соответствующие линии PSK , т. е. перлитному превращению, обозначаются как A_1 (рис. 36), линии GOS , т. е. начала аллотропического перехода, обозначается как A_3 , линии ES , соответствующей изменению предела насыщения, как A_{cm} . Критическая температура превращения при нагреве несколько выше, чем при охлаждении. Поэтому, указывая критическую точку, необходимо отметить, получена ли она при охлаждении или при нагреве. Так, перлитное превращение при нагреве будет обозначаться как A_{c1} , а при охлаждении — A_{r1} ; то же относится и к точке A_3 .

Любой процесс термической обработки металла состоит из нагрева, выдержки и охлаждения. На рис. 43 представлена часть кривой нагрева (охлаждения) стали У8. По составу эта сталь соответствует перлитной точке (рис. 36, точка S) и при низких температурах имеет перлитную структуру (рис. 43, a). При нагреве до температуры 727°C происходит аллотропическое превращение,

приводящее к образованию аустенита. Появление аустенитных зерен начинается на границе ферритной и цементитной фаз (рис. 43, b) и заканчивается при постоянной температуре. В результате образуются мелкие зерна аустенита (рис. 43, $в$), т. е. при переходе через критическую точку сталь приобретает более мелкозернистую микроструктуру, чем исходная. Для стали доэвтектоидной при нагреве выше A_{c1} , кроме аустенита, будет существовать

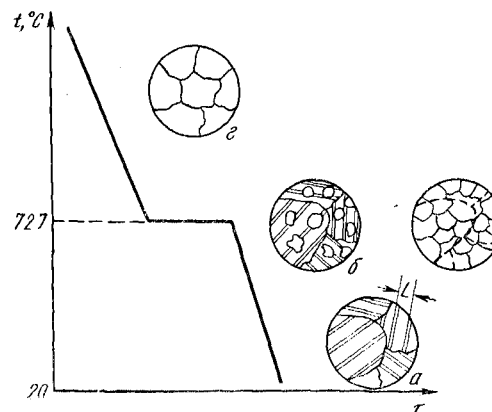


Рис. 43. Превращения при нагреве эвтектоидной стали

и феррит, который полностью превратится в аустенит только при температурах выше верхней критической точки A_{c3} . У заэвтектоидной стали при нагреве до A_{c1} также вместо перлитных участков образуются зерна аустенита, но сетка вторичного цементита вокруг зерен исчезает только при нагреве выше A_{c1} . Повышение температуры выше критических точек приводит к росту аустенитных зерен (рис. 43, $г$) тем большему, чем выше температура, что является нежелательным. *Перегревом* называется значительный рост аустенитного зерна вследствие нагрева стали гораздо выше критической точки. В том случае, если температура нагрева приближается к линии солидус на $100\text{--}200^\circ\text{C}$, происходит за счет взаимодействия с окружающей средой образование окислов железа по границам зерен, что приводит к резкому снижению прочности стали. Это явление называется *пережогом*. Пережог — брак неисправимый; перегрев может быть

исправлен повторным нагревом до температуры, ненамного превышающей критическую точку.

Положение критической точки, в которой совершается превращение, зависит от скорости охлаждения. Чем быстрее охлаждается сталь, тем при более низкой температуре будет происходить превращение, т. е. тем больше будет степень переохлаждения. При медленном охлаждении образование перлита будет происходить вблизи температуры 727°C . Ширина цементитных пластинок в перлите и расстояние между ними будет в значительной мере определяться скоростью диффузии углерода, необходимого для построения кристалла Fe_3C при данной температуре. Строение эвтектоидной смеси — перлита — можно охарактеризовать межпластиночным расстоянием L (рис. 43, а). Чем ниже температура превращения, тем меньше скорость диффузии углерода и тем толще пластинки цементита и меньше межпластиночное расстояние. Соотношение между степенью переохлаждения и межпластиночным расстоянием может быть выражено следующей эмпирической зависимостью:

$$\lg L = 4 - 9 \cdot 10^3 \Delta T,$$

где L — межпластиночное расстояние, Å ;
 ΔT — степень переохлаждения, $^{\circ}\text{C}$.

Механические свойства перлита существенно изменяются при изменении межпластиночного расстояния. Так, при $L \approx 0,5 \div 1, 0,25$ и $0,1$ мкм твердость меняется в пределах HV 180—200, 250—300, 350—450 соответственно. Чтобы подчеркнуть различие в свойствах, принято перлитным смесям с указанным межпластиночным расстоянием присваивать различные наименования. Так, название перлит сохраняется только за первой из них с большим межпластиночным расстоянием. Более дисперсные смеси получили наименование *сорбит* (0,25 мкм) и *троостит* (0,1 мкм). Однако следует помнить, что толщина пластинок меняется непрерывно и поэтому действительной границы между этими смесями нет.

Наряду с твердостью от перлита к трооститу возрастают и пределы прочности, текучести и упругости, относительное же удлинение и ударная вязкость снижаются.

Процесс превращения аустенита во времени при соответствующей температуре изучается при помощи диаграмм изотермического превращения, которые строят-

ся экспериментальным путем. Для построения диаграммы изотермического превращения аустенита из данной марки стали изготавливают образцы и нагревают их до получения аустенитной структуры. Затем образцы быстро переносят в какую-либо среду (например, соляную ванночку), нагретую на заданную температуру, и выдерживают до полного превращения аустенита. Образцы должны быть достаточно тонкими, чтобы мгновенно принимать температуру охлаждающей среды. Во время выдержки производят измерения какого-либо свойства, меняющегося при распаде аустенита. Чаще всего используют магнитные свойства, поскольку аустенит немагнитен, а продукты его распада магнитны. В этом случае измеряют время появления магнитной индукции, что будет соответствовать началу превращения, и время достижения максимальной индуктивности, что соответствует концу превращения. Значения переносят на графики, где точки, соответствующие началу и концу превращения, объединяют линиями (рис. 44).

Диаграмма изотермического превращения аустенита для стали У8 показывает, что при температуре выше 200°C превращение аустенита (кривая 1, рис. 44) начинается, спустя некоторое время после достижения заданной температуры. Это время называется инкубационным или подготовительным периодом. Наименее устойчив аустенит в интервале температур 500 — 600°C . В результате превращения получается феррито-цементитная смесь различной степени дисперсности. Дисперсность смеси и ее свойства определяются температурой превращения. Чем ниже температура, тем меньше межпластиночное расстояние и тем выше твердость смеси. Кривая 2 соответствует концу превращения.

При температурах ниже 200°C (линии M_n , рис. 44) диффузионные процессы в железе практически не имеют места и поэтому при охлаждении аустенита ниже 200°C кристаллы цементита образоваться не могут. Однако при понижении температуры произойдет аллотропическое превращение градиентированной решетки γ -железа в объемноцентрированную решетку α -железа. В этом случае, поскольку диффузия углерода отсутствует, образовавшийся феррит должен будет содержать то же количество углерода, что и аустенит, из которого он возник. Максимальная растворимость углерода в α -же-

лезе при 20° С не превышает 0,0025%, в то же время аустенит в зависимости от марки стали может содержать до 1,3% С; следовательно, в результате превращения возникает пересыщенный твердый раствор углерода

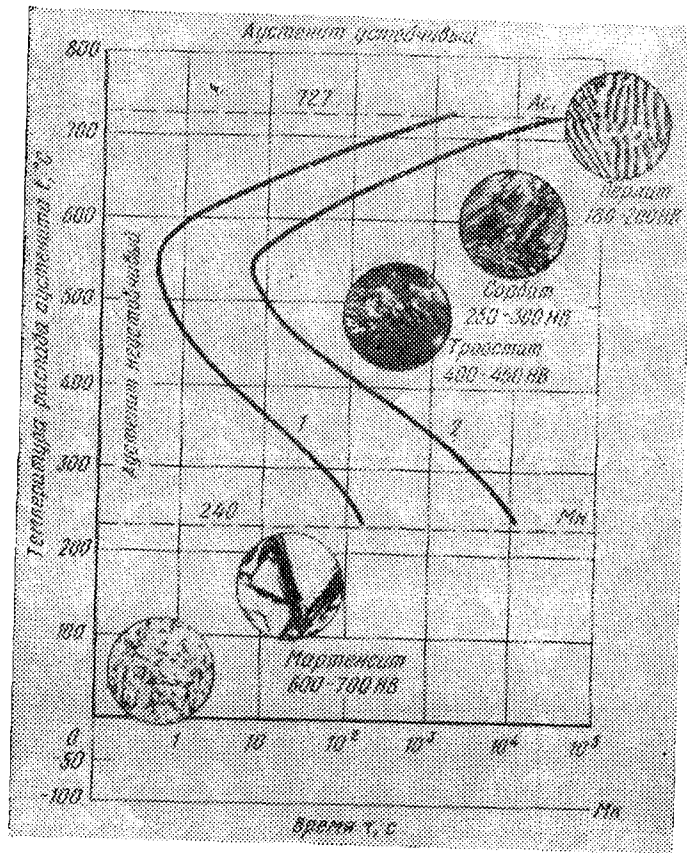


Рис. 41. Диаграмма изотермического превращения аустенита

в α -железе, называемый *мартенситом*. По определению Г. В. Курдюмова, «мартенситное превращение состоит в закономерной перестройке решетки, при которой атомы не обмениваются местами, а лишь смещаются друг относительно друга на расстояния, не превышающие

межатомные». Таким образом, перемещения атомов при мартенситном превращении носит взаимосвязанный характер — в мартенситной фазе данный атом будет окружен теми же атомами, которые были его соседями и в аустенитной фазе. Поскольку диффузионное перемещение атомов при мартенситном превращении отсутствует, концентрация углерода в мартенсите остается такой же, как в исходном аустените. Из-за большого количества углерода, α -решетка в мартенсите искажается и становится тетрагональной. Вследствие небольшой величины смещения атомов мартенситное превращение происходит практически мгновенно.

Образование мартенсита вызывает упрочнение стали, повышение ее твердости (до *НВ* 600—700) и хрупкости. Большое влияние на упрочнение оказывает повышенная плотность дефектов в мартенсите. Так, например, плотность дислокаций в мартенсите того же порядка, что и у холоднодеформированной стали, и достигает 10^{10} — 10^{12} см⁻². При образовании пересыщенного α -твердого раствора, атомы углерода тормозят скольжение дислокаций в мартенсите, что снижает способность к пластической деформации и повышает твердость мартенсита. Упрочняющее действие оказывает также частичный распад мартенсита при прохождении мартенситного интервала и выделение дисперсных частиц карбида.

Мартенсит имеет форму игл-пластин, разделяющих аустенитное зерно на несколько частей. С понижением температуры количество мартенситных игл увеличивается, а количество аустенита уменьшается. Однако чем больше количество мартенсита, тем труднее протекает дальнейшее превращение аустенита. Происходит это потому, что удельный объем мартенсита больше, чем аустенита, и при возникновении игл мартенсита соседние объемы аустенита испытывают напряжения сжатия, тормозящие их дальнейшее превращение.

Скорость превращения переохлажденного аустенита и температуры начала и конца мартенситного превращения зависят от химического состава стали. Понять, каким образом в процессе непрерывного охлаждения формируется та или иная структура, можно, совместив кривые скорости охлаждения с кривыми изотермического распада на одном графике. На рис. 45 на диаграмму изотермического распада аустенита нанесены кривые,

соответствующие различным скоростям охлаждения. Так, при небольшой скорости охлаждения v_1 превращение аустенита произойдет при высоких температурах с образованием перлита, при скорости v_2 — при более низких температурах, при которых образуется сорбит и т. д. Для получения наиболее твердой структуры (мартенсита) нужна большая скорость охлаждения,

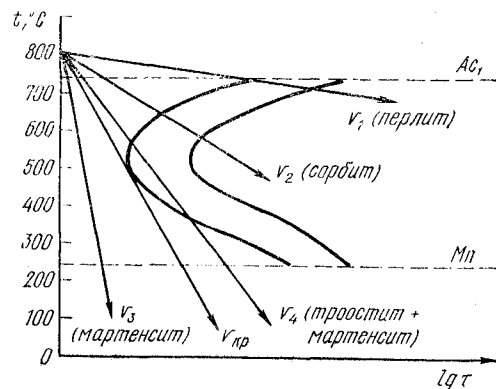


Рис. 45. Диаграмма изотермического превращения аустенита с нанесенными на нее кривыми охлаждения

чтобы аустенит в процессе охлаждения не успел превратиться в интервале минимальной устойчивости ($500\text{—}600^\circ\text{C}$), например v_3 . При охлаждении со скоростью v_4 только часть объема стали успеет превратиться в троостит, оставшийся объем при более низких температурах превратится в мартенсит и получится смешанная троостито-мартенситная структура. Таким образом, скорость охлаждения лишь постольку определяет структуру, а следовательно, и свойства стали, поскольку сталь в процессе охлаждения попадает в ту или иную область изотермических превращений аустенита. Минимальная скорость охлаждения, при которой в структуре получается только мартенсит, называется *критической скоростью закалки* ($v_{кр}$).

Скорости охлаждения, применяемые на практике, могут изменяться в очень широком диапазоне. Так, скорость охлаждения в воде может быть порядка 1000°C ,

что обеспечивает получение мартенсита; при охлаждении на воздухе (около $5^\circ\text{C}/\text{c}$) получается сорбит, а при охлаждении в масле (около $50^\circ\text{C}/\text{c}$) — троостит.

2. ЗАКАЛКА СТАЛИ

Закалка производится для повышения твердости, износостойкости и предела упругости. При закалке сталь нагревают выше критических точек и, затем быстро охлаждают. В зависимости от скорости охлаждения различают резкую или сильную закалку — на мартенсит, и умеренную — на троостит. Для закалки углеродистых сталей на мартенсит применяют охлаждение в воде, на троостит — в масле.

Температура нагрева под закалку должна быть такова, чтобы сталь перешла полностью в аустенитное состояние. Для конструкционной стали температура закалки выбирается следующим образом:

$$t_{\text{зак}} = A_{c3} + (30\text{—}50^\circ\text{C}).$$

При нагреве ниже A_{c3} в структуре сохраняется неперевращенный феррит (область pGS , рис. 36), который после закалки будет присутствовать в структуре наряду с мартенситом и снижать твердость закаленной стали. Такая закалка называется неполной. Нагрев выше указанных температур приводит к повышению хрупкости. Чем выше температура нагрева, тем больше растет зерно аустенита и тем крупнее иглы мартенсита, образующиеся при охлаждении стали, что и обуславливает увеличение хрупкости закаленной стали. Оба дефекта (пошженная твердость и повышенная хрупкость) могут быть устранены повторной закалкой от нормальной температуры нагрева. Для инструментальной стали всегда применяют полную закалку

$$t_{\text{зак}} = A_{c1} + (30\text{—}50^\circ\text{C}),$$

поскольку остающийся при таком нагреве вторичный цементит повышает твердость и износостойкость закаленной стали.

После достижения заданной температуры изделие выдерживается в печи в течение некоторого времени для полного прогрева по сечению и завершения структурных превращений. Для углеродистых сталей при на-

греве в электрических печах время нагрева принимают примерно равным 1 мин на каждый миллиметр поперечного сечения детали, а время выдержки, равным $\frac{1}{5}$ времени нагрева.

Скорость охлаждения при закалке определяет строение и свойства термообработанной стали. В большинстве случаев производят закалку на мартенсит. В этом случае действительная скорость закалки должна быть равна или же превышать критическую скорость закалки (рис. 45). Действительная скорость закалки зависит от теплопроводности и вязкости охлаждающей среды и от размеров, формы и теплопроводности материала детали.

Большие скорости охлаждения (до $1000^\circ \text{C}/\text{с}$) при закалке вызывают значительные закалочные напряжения, приводящие к появлению трещин, изменению размеров и формы деталей при термической обработке. Закалочные напряжения обуславливаются не только термическим воздействием, но и структурными превращениями:

$$\sigma_{\text{зак}} = \sigma_{\text{терм}} + \sigma_{\text{струк}}$$

Возникновение структурных напряжений связано с различием удельных объемов аустенита и мартенсита. Так, при образовании мартенсита удельный объем стали возрастает примерно на 1%, что и приводит к возникновению структурных напряжений. Поскольку мартенсит образуется при температурах $200\text{--}300^\circ \text{C}$, то именно при этих температурах наиболее вероятно появление указанных видов брака.

Большую роль в снижении термических напряжений и получении качественной закалки играет правильный выбор охлаждающей среды. Идеальный охладитель должен охлаждать быстро в интервале минимальной устойчивости аустенита ($500\text{--}600^\circ \text{C}$) и медленно в интервале образования наибольших закалочных напряжений ($200\text{--}300^\circ \text{C}$).

В табл. 3 представлены скорости охлаждения различных охладителей в обоих интервалах.

Применение охладителей с небольшой скоростью охлаждения при температуре $200\text{--}300^\circ \text{C}$, например машинного масла, позволяет снизить или полностью ликвидировать образование трещин и деформаций при

Таблица 3

СКОРОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ СТАЛИ В РАЗЛИЧНЫХ ЗАКАЛОЧНЫХ СРЕДАХ, $^\circ \text{C}/\text{с}$

Среда	Интервал температур, $^\circ \text{C}$	
	550—650	200—300
Вода при температуре:		
18°C	600	270
50°C	100	270
Водный раствор:		
едкого натра (10%-ный)	1200	300
марганцевокислого калия (5%-ный)	450	100
Минеральное машинное масло	150	30
Сплав: 75% Sn+20% Cd ($t_{\text{пл}} \approx 175^\circ \text{C}$)	450	50

закалке. Однако в этом случае мартенсит и высокую твердость при закалке можно получить только у легированных сталей. Что касается углеродистой стали, то при закалке в масле у нее резко снижается прокаливаемость.

Снизить закалочные напряжения и одновременно получить высокую твердость у закаленной углеродистой стали можно, применяя различные способы охлаждения. Закалка в воде с перебрской в масло позволяет снизить закалочные напряжения за счет более медленного охлаждения стали в мартенситном интервале. При ступенчатой закалке охлаждение производится в расплавах солей или щелочей, нагретых до температур $300\text{--}350^\circ \text{C}$, т. е. несколько выше мартенситной точки. После короткой выдержки изделие вынимают из расплава и охлаждают на воздухе. Подобным же образом производится и изотермическая закалка. Однако при изотермической закалке выдержка в закалочной ванне более длительная до полного завершения превращения.

В результате распада аустенита при температурах выше линии *Mn* вместо мартенсита образуется игольчатый троостит, что несколько снижает твердость закаленной стали (*HRC* 55—56 вместо 60—62). Таким образом, при изотермической закалке не только умень-

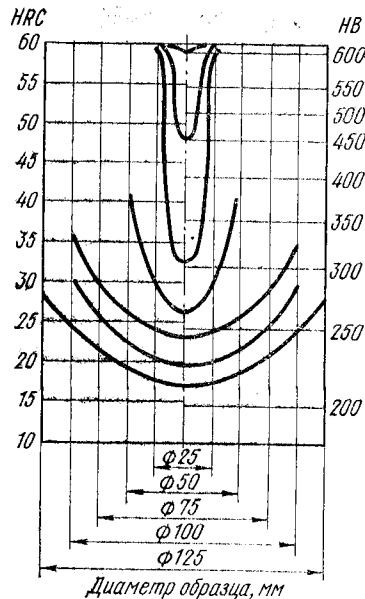
шаются термические напряжения, но и полностью устраняются структурные напряжения.

Закалка в горячих средах (ступенчатая и изотермическая) возможна только для небольших предметов, сечение которых быстро прогревается до температуры ванны.

Прокаливаемость и закаливаемость стали являются важными характеристиками, позволяющими оценивать способность стали подвергаться закалке. Закаливаемость — это способность стали получать высокую твердость при закалке. Под прокаливаемостью понимают глубину закаленной зоны.

Действительная скорость охлаждения не одинакова по сечению детали и убывает от периферии к центру; при этом может оказаться, что в центре действительная скорость закалки будет меньше критической. В этом случае сердцевина детали не получит мартенситной структуры и твердость ее окажется пониженной. Таким образом, на глубину закалки будут оказывать влияние величина действительной скорости закалки и химический состав

Рис. 46. Прокаливаемость стали 45 в зависимости от размеров поперечного сечения при закалке в воде



стали, поскольку критическая скорость закалки меняется в зависимости от марки стали (см. раздел «Легированные стали и сплавы»). Существенное влияние оказывает на прокаливаемость также величина зерна в стали, а следовательно, и влияющие на нее факторы, т. е. температура и длительность нагрева.

При экспериментальном определении прокаливаемости измеряется твердость по сечению закаленного образца. Обычно за твердость закаленного слоя прини-

мается твердость полумартенситной зоны (50% мартенсита + 50% троостита), равная примерно HRC 50. На рис. 46 показаны кривые прокаливаемости стали 45 при закалке в воде. Как видно, твердость не менее HRC 50 в центре образца может быть получена в том случае, если диаметр образца не превышает 12,5 мм. Диаметр максимального сечения, прокаливающегося в данном охладителе насквозь, называется *критическим диаметром*. Согласно приведенным данным критический диаметр стали 45 при закалке в воде составляет 12,5 мм. При увеличении содержания марганца в этой стали до 1,7% критический диаметр увеличивается вдвое.

Если хотят увеличить твердость и износостойкость только на поверхности детали, производят *поверхностную закалку* стали. Наибольшее распространение в технологии машиностроения получила индукционная закалка токами высокой частоты. Как известно, высокочастотный ток в основном концентрируется в узком поверхностном слое, где и выделяется соответствующее количество тепла, нагревающее поверхность детали до заданной температуры. Толщина слоя, в котором выделяется тепло, зависит от частоты тока следующим образом:

$$P = K \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}},$$

где P — толщина слоя;
 K — коэффициент пропорциональности;
 ρ — электросопротивление металла;
 μ — магнитная проницаемость;
 f — частота тока.

На практике обычно применяют частоты порядка 200 000 — 500 000 Гц. Толщина закаленного слоя обычно составляет 1 — 2 мм.

Значительного повышения прочности стали можно добиться, совмещая закалку с пластической деформацией. При этом пластичность снижается в меньшей мере, чем если бы была произведена только закалка. Такая обработка называется *термомеханической*. Термомеханическая обработка разделяется на высокотемпературную (ВТМО) и низкотемпературную (НТМО). При ВТМО сталь нагревают до температур выше A_{c3}

(1000—1100° С), деформируют, слегка подстуживают и производят закалку. При НТМО деформирование производят при температурах ниже критических точек в области пересохлажденного аустенита (450—550° С). Поэтому НТМО подвергают только легированные стали, имеющие повышенную устойчивость пересохлажденного аустенита. Закалка производится непосредственно с температуры деформирования. После НТМО прочность несколько выше, а пластичность ниже, чем после ВТМО.

3. ОТПУСК СТАЛИ

Для снижения хрупкости закаленной стали ее подвергают отпуску. При отпуске сталь нагревается на температуры, не превышающие точку A_{c1} , чтобы не уничтожить полностью результаты предыдущей операции (закалки). Наибольшей хрупкостью обладает сталь, закаленная на мартенсит, поэтому и отпуск применяется в основном для стали, закаленной на мартенсит. Рассмотрим, каким образом нагрев стали, закаленной на мартенсит, скажется на ее структуре и свойствах. Поскольку мартенсит является пересыщенным твердым раствором, он может существовать только при достаточно низких температурах (ниже 250° С), при которых невозможна диффузия углерода. Нагрев выше 250° С приводит к развитию диффузионных процессов, вследствие чего углерод покидает решетку железа и образует карбид железа (цементит). Концентрация углерода в α -железе при этом снижается до равновесной. Таким образом, мартенсит распадается на смесь феррита с цементитом разной степени дисперсности. Дисперсность смеси зависит от температуры отпуска и тем больше, чем ниже эта температура. Аналогичные смеси получались и при закалке в результате распада аустенита, поэтому, смеси, полученные при отпуске, также носят название сорбита или троостита (отпуска). Ударная вязкость выше у отпущенной стали, цементитные включения которой имеют зернистую форму в отличие от пластинчатой у стали закаленной.

Отпуск принято разделять на высокий (температура 500—650° С), средний (350—500° С) и низкий (150—250° С). На рис. 47 представлены графики изменения механических свойств в зависимости от температуры от-

пуска. Начиная от 200° С, твердость постепенно снижается: аналогично изменяются и другие прочностные характеристики. Сопротивление же удару начинает заметно возрастать лишь при нагреве выше 400° С и имеет наибольшее значение при температурах 600—650° С. Поскольку термической обработке подвергаются главным образом ответственные детали машин (тяжелонагруженные и испытывающие знакопеременные и ударные нагрузки), величина ударной вязкости должна быть как можно больше. Поэтому оптимальной термической обработкой для конструкционной стали будет являться закалка с последующим высоким отпуском. Эта двойная термическая операция называется *улучшением* стали. Элементы конструкций, для которых основным требованием является наличие высокого предела упругости (ресорсы, пружины, мембраны и т. п.), подвергают среднему отпуску.

Инструментальную углеродистую сталь отпускают при температурах не выше 200—250° С (низкий отпуск), так как в противном случае произойдет недопустимое снижение твердости. При этих температурах происходит образование субмикроскопических карбидов и снижение концентрации углерода в мартенсите. Таким образом, отпущенный мартенсит представляет собой пересыщенный — твердый раствор с уменьшенной сравнительно с закаленным состоянием концентрацией углерода и включениями дисперсных кристалликов карбида. Твердость

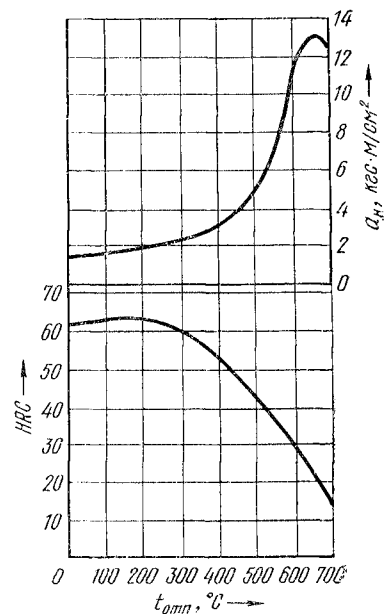


Рис. 47. Изменение механических свойств стали при отпуске

отпущенного мартенсита практически не меняется, остаточные закалочные напряжения уменьшаются и несколько повышается ударная вязкость.

В отличие от закалки, при которой окончательная структура формируется в процессе охлаждения, при отпуске формирование структуры происходит во время выдержки при температуре, поэтому скорость охлаждения после отпуска не вносит изменений в структуру и свойства углеродистой стали. Длительность выдержки при отпуске составляет обычно от 0,5 до 1,5 ч.

4. ОТЖИГ СТАЛИ

Отжиг производят для снижения твердости, увеличения пластичности и вязкости и улучшения обрабатываемости стали. В практике, как правило, применяют следующие виды отжига: смягчающий, диффузионный, рекристаллизационный и отжиг для снятия остаточных напряжений.

Смягчающий отжиг основан на полной или частичной фазовой перекристаллизации стали в процессе нагрева и последующем очень медленном охлаждении, приводящем к получению равновесной структуры в соответствии с диаграммой железо — углерод.

Конструкционную сталь в основном отжигают с полной фазовой перекристаллизацией. Для этого так же, как и при закалке, сталь нагревают выше A_{c3} на 30—50°С и затем охлаждают со скоростями не более 20—50°С/ч (вместе с печью). Получение равновесной структуры обеспечивает низкую твердость стали. Кроме того, при переходе через A_{c3} сталь приобретает мелкозернистую структуру, что способствует повышению ее вязкости.

Для инструментальной стали применяют неполный отжиг с нагревом выше A_{c1} , но ниже A_{cm} (около 780°С). При нагреве выше точки A_{c1} частично сохраняются кристаллы вторичного цементита, которые при последующем охлаждении ниже A_{c1} служат центрами кристаллизации вновь образующегося цементита. В этом случае цементит, появляющийся ниже A_{c1} , принимает округлую, зернистую форму, что способствует дальнейшему снижению твердости и повышению пластичности и вязкости стали. Если однократного охлаждения оказыва-

ется недостаточно, чтобы придать цементиту зернистую форму, нагрев и охлаждение несколько выше и ниже A_{c1} производят несколько раз. Такой отжиг называют колебательным или циклическим.

Отжиг является длительной операцией и может продолжаться до 10—20 ч, поэтому часто вместо отжига для углеродистой стали применяют *нормализацию*. Нормализацией называется охлаждение стали с температур выше критических на воздухе. Инструментальную сталь при нормализации нагревают выше A_{cm} , поскольку при ускоренном охлаждении на воздухе цементитная сетка не возникает. Конструкционную нагревают так же, как и под закалку. Нормализованная сталь имеет структуру сорбита и несколько повышенную твердость и прочность сравнительно с отожженной.

Диффузионный отжиг производят для уничтожения неоднородности химического состава по объему слитка и применяют в основном для легированных сталей, у которых такая неоднородность выражена сильней. Выравнивание химического состава происходит за счет диффузионных процессов, поэтому температура отжига должна быть достаточно высокой, примерно 1050—1150°С. Длительность отжига составляет от 8 до 15 ч.

Рекристаллизационный отжиг производят для снятия наклепа. Процессы, происходящие при пластическом деформировании и рекристаллизации, описаны во второй главе. Рекристаллизационный отжиг производят при температурах на 200—300°С выше температуры рекристаллизации.

Рекристаллизационный отжиг применяют между отдельными операциями волочения проволоки и при других видах холодной обработки давлением.

Отжиг для снятия остаточных напряжений производят в основном для отливок и сварных соединений при тех температурах, при которых фазовые превращения отсутствуют. Остаточные напряжения снимаются за счет пластической деформации.

При длительности отжига 20 ч напряжения почти полностью снимаются при температуре 600°С вне зависимости от их начальной величины. Для сокращения времени отжига его температура может быть несколько увеличена (до 680—700°С).

5. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Основные виды оборудования, применяемого в термических цехах, представлены на схеме рис. 48, на которой печи классифицированы по принципу действия и по конструкции.

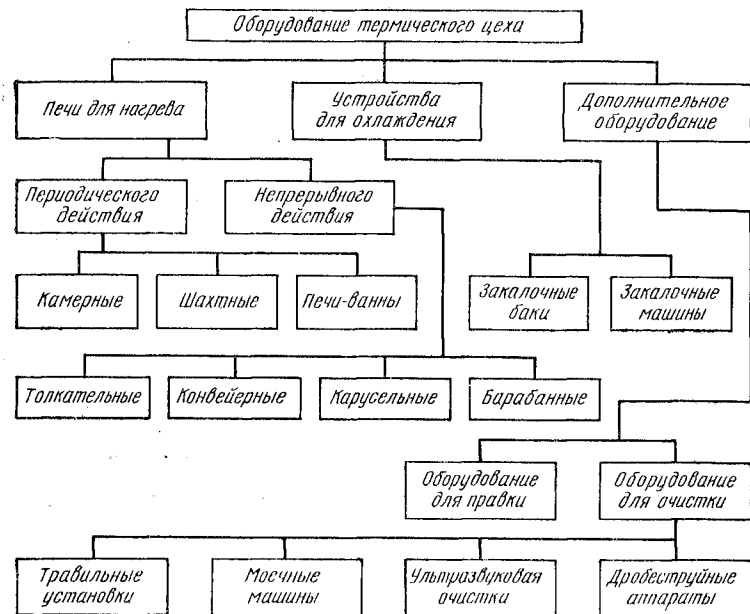


Рис. 48. Классификация оборудования термического цеха

По принципу действия печи разделяются на периодические, применяемые при индивидуальном и мелкосерийном производстве, и печи непрерывного действия, применяемые при серийном и массовом производстве.

Камерные печи могут применяться для всех видов термической обработки. Основным видом нагрева для этих печей является газовый и электрический. Камерные электрические печи с карборундовыми нагревателями обеспечивают максимальную рабочую температуру до 1350° С.

Шахтные печи предназначаются для термообработки длинных деталей: осей, валов и т. п. Рабочее простран-

ство таких печей представляет собой шахту высотой от 2 м и более.

Для нагрева мелких изделий могут применяться печи-ванны, обеспечивающие равномерный и быстрый нагрев и практически не вызывающие окисления и обезуглероживания поверхностного слоя детали. В качестве нагревающей среды в таких печах применяют смеси солей и щелочей.

Наибольшее распространение получили электрические печи — ванны, разделяющиеся на печи с нагревательными элементами в виде проволоки из сплавов с высоким электропротивлением и электродные (рис. 49). В электродных печах нагрев соли происходит вследствие преобразования электрической энергии в тепловую при прохождении тока в расплавленной соли, являющейся проводником. Чтобы ток не проходил через нагреваемые детали или чтобы они не соприкасались с электродами, устанавливаются перегородки.

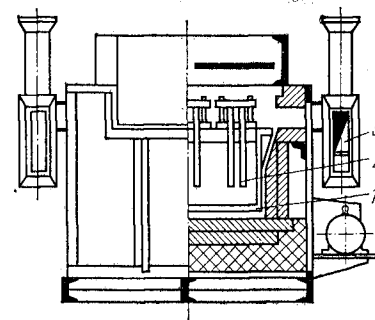


Рис. 49. Соляная электрованна:
1 — тигель; 2 — электроды; 3 — бортовой отсос

В массовом производстве применяются печи непрерывного действия. По длине такой печи располагаются зоны с разной температурой нагрева. Деталь продвигается внутри печи и проходит полный термический цикл: подогрев и нагрев на окончательную температуру с соответствующей выдержкой. Скорость продвижения деталей должна быть такой, чтобы успели произойти структурные превращения, требующиеся при заданном виде термической обработки. По виду энергии, применяемой для нагрева таких печей, они разделяются на пламенные и электрические. По конструкции устройства, передвигающего детали, печи разделяются на толкательные, конвейерные и др. Крупные детали при этом размещают на специальных направляющих, а мелкие — на поддонах.

Широкое распространение получили различные автоматизированные агрегаты, в которых основным узлом является печь непрерывного действия (рис. 50).

При закалке охлаждение производят в закалочных баках. Вода или масло в закалочный бак должны поступать снизу, а сбрасываться сверху. В закалочных баках для масла предусматриваются различные устройства для охлаждения.

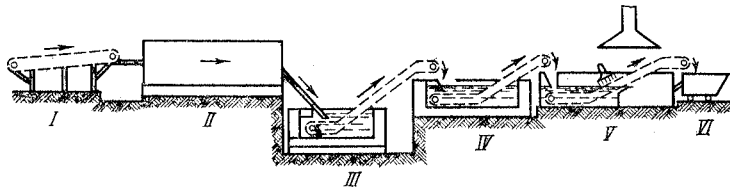


Рис. 50. Схема непрерывной передачи деталей по конвейеру:

I — загрузочный транспортер; II — закалочная печь непрерывного действия; III — бак; IV — щелочная ванна; V — мойка; VI — тележка

Специальные закалочные машины применяют в том случае, если требуется уменьшить коробление и получить равномерную закалку по объему детали. В этом случае детали зажимают в штампах, плитах или каких-либо других приспособлениях и в таком виде охлаждают.

После термической обработки поверхность деталей сильно загрязнена и нуждается в очистке. Так, чтобы удалить масло после закалки, детали промывают в горячих растворах Na_2CO_3 или NaOH .

Для очистки от окалины и ржавчины применяют травильные ванны и дробеструйные аппараты. Травление разделяется на химическое и электрохимическое и производится в водных растворах серной или соляной кислот.

В дробеструйных аппаратах очистка производится при помощи дроби. Дробь делают из белого чугуна с твердостью *HV* 500; размер дроби 0,5—2 мм.

Химико-термической обработкой называется диффузионное насыщение поверхностных слоев материала различными элементами. В результате такой обработки получается различный химический состав поверхности и сердцевины изделия. Различные виды химико-термической обработки позволяют повысить поверхностную твердость, износостойкость, а также коррозионную стойкость, особенно окалиностойкость металлов и их сплавов.

Химико-термическая обработка обычно сочетается с термической обработкой и либо предшествует, либо следует за ней.

На практике широко применяются следующие виды химико-термической обработки: цементация, азотирование, цианирование (нитроцементация) и диффузионная металлизация.

1. ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Насыщение при химико-термической обработке производится при нагреве в твердой, жидкой или газовой средах, содержащих диффундирующий элемент. Этот элемент должен выделяться в атомарном виде при диссоциации соответствующих соединений, входящих в состав насыщающих сред. На границе среда — металл происходят сорбционные процессы, заключающиеся в поглощении насыщающего элемента поверхностью металла. Заключительным процессом является диффузия элемента, т.е. проникновение его в глубь металла, в результате чего образуется диффузионный слой с наибольшей концентрацией элемента у поверхности.

Результаты химико-термической обработки определяются толщиной диффузионного слоя и концентрацией насыщающего элемента в поверхностных слоях. Основными технологическими факторами, влияющими на эти характеристики, являются состав насыщающей среды, температура и время выдержки. Состав среды и темпе-

ратура определяют скорость диссоциации и образования насыщающего элемента в атомарном состоянии. Изменение толщины слоя в зависимости от времени происходит по параболическому закону:

$$y = K \sqrt{\tau},$$

где τ — длительность процесса.

Наиболее интенсивно глубина слоя возрастает в начале процесса. Контроль результатов химико-термической обработки производят измерением твердости, что косвенно может свидетельствовать о степени насыщения. Глубину слоя можно определять по виду излома специальных образцов, проходящих обработку совместно с деталями.

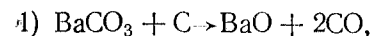
2. ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ

Цементация — это процесс насыщения поверхности детали углеродом, проводимый с целью повышения твердости, износостойкости и предела выносливости при переменных нагрузках. Повышение перечисленных характеристик достигается, однако, только в том случае, если цементация сопровождается термической обработкой, заключающейся в закалке и низком отпуске. Обычно для цементации берут малоуглеродистую сталь с содержанием углерода до 0,2%; в этом случае твердость ненауглероженных внутренних слоев изделия после закалки не изменяется и остается равной примерно $HV 160-170$, в то время как твердость поверхности изделия повышается до $HV 600$. Если от изделия требуются повышенные прочностные свойства в сердцевине, можно применять стали с большим содержанием углерода (до 0,3), однако вязкость при этом окажется несколько сниженной. Обычно толщина цементованного слоя не превышает 1—1,5 мм, а концентрация углерода в нем — 0,8—1,0%.

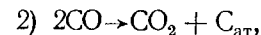
В зависимости от состояния насыщающей среды (карбюризатора) различают цементацию твердым карбюризатором и газовую.

При цементации твердым карбюризатором изделия укладывают в металлические ящики и засыпают карбюризатором, состоящим из древесного угля и карбонатов ($BaCO_3$ или Na_2CO_3), которые добавляют в количестве

от 10 до 40% от массы угля. Ящик герметизируют, обмазывая его крышку огнеупорной глиной, и помещают в печь. Цементацию производят при температурах 900—950°С; продолжительность цементации в зависимости от размеров ящика изменяется от 10 до 20 ч. Карбонаты играют важную роль в процессе цементации, являясь дополнительным источником окиси углерода и тем самым значительно активируя процесс. При нагреве в цементационном ящике протекают следующие процессы:



где С — древесный уголь из карбюризатора;



где $C_{ат}$ — атомарный углерод, образовавшийся в результате диссоциации угарного газа (диссоциация происходит при соприкосновении CO с поверхностью стальной детали);



Эта реакция приводит к повышению концентрации углерода в аустените. При термической обработке детали сначала охлаждаются на воздухе (нормализуются), а затем закаляются с температур 760—780°С. После закалки цементованные детали подвергают низкому отпуску при температурах 160—180°С.

Газовую цементацию широко применяют при массовом производстве цементованных деталей. В качестве карбюризатора применяют предельные и непредельные газообразные углеводороды или окись углерода, которые при нагреве диссоциируют с выделением атомарного углерода. Газовая цементация производится в герметически закрытых печах, имеющих специальные устройства для подачи газа и его перемешивания. Закалка часто производится прямо из цементационной печи при небольшом подстуживании до 840—860°С. Применение газовой цементации позволяет более чем вдвое сократить продолжительность процесса цементации, так как в этом случае отпадает необходимость в прогреве цементационных ящиков.

3. АЗОТИРОВАНИЕ СТАЛИ

Азотирование производят для повышения твердости, износостойкости и предела выносливости сталей; при этом также повышается коррозионная стойкость в атмосфере и водопроводной воде. При азотировании поверхность детали насыщается активным азотом, полученным при диссоциации аммиака:



Азотированный слой на поверхности состоит из механической смеси твердых растворов на основе двух нитридов железа: Fe_4N и Fe_3N . Под этим слоем располагается азотистый феррит. Поскольку нитриды и их твердые растворы обладают высокой твердостью, высокая твердость азотированного слоя получается непосредственно после азотирования без какой-либо дополнительной термической обработки. Твердость азотированного слоя сильно зависит от дисперсности кристаллов твердых растворов (нитридов) и тем выше, чем дисперснее эти кристаллы. При введении легирующих элементов образуются нитриды этих элементов, не склонные к коагуляции и сохраняющие дисперсность при нагреве до $600\text{--}650^\circ\text{C}$. Особенно эффективно повышают твердость азотированного слоя алюминий, хром, молибден, которые образуют термически стойкие нитриды, не склонные к коагуляции. При одновременном присутствии этих элементов в стали твердость азотированного слоя может достигать $HV\ 1200$. Для азотирования применяют среднеуглеродистые легированные стали, например 38ХМЮА. Различают азотирование с целью повышения твердости, износостойкости и усталостной прочности (прочностное азотирование) и азотирование для повышения коррозионной стойкости во влажной атмосфере и пресной воде (антикоррозионное).

При прочностном азотировании применяют легированные стали и азотирование осуществляют при сравнительно низких температурах: $500\text{--}520^\circ\text{C}$.

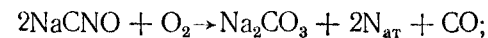
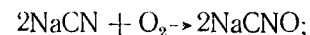
Антикоррозионное азотирование производят при более высоких температурах ($600\text{--}700^\circ\text{C}$). Если, кроме высокой коррозионной стойкости, к азотированному слою не предъявляют другие требования, то можно азотировать не только легированные стали, но и углеродистые. Износостойкость азотированной стали выше,

чем закаленной или цементованной. Перед азотированием производят термическую обработку, состоящую из закалки и высокого отпуска, для повышения прочности сердцевинны детали и предотвращения продавливания тонкого азотированного слоя при больших удельных нагрузках.

4. ЦИАНИРОВАНИЕ И НИТРОЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ

Цианированием называют процесс насыщения поверхности детали атомами азота и углерода. Цианирование повышает твердость, износостойкость, сопротивление усталости и коррозионную стойкость.

Цианирование производят в расплавленных солях, содержащих цианистый натрий NaCN . В зависимости от желаемой толщины слоя процесс ведут при различных составах ванн и температурах. Слои небольшой толщины получают при температурах $820\text{--}860^\circ\text{C}$ в расплавленных солях, состоящих на $20\text{--}25\%$ из NaCN и в остальном — из нейтральных солей NaCl и Na_2CO_3 . Атомарные азот и углерод получают при окислении кислородом воздуха цианистых солей:



В результате поверхность детали насыщается азотом (до $1,2\%$) и углеродом (до $0,7\%$). После цианирования производят закалку и низкий отпуск.

Цианирование при низких температурах $550\text{--}600^\circ\text{C}$ по существу является азотированием в жидких средах, поскольку науглероживания при этих температурах практически не происходит. Этот процесс производят в неразбавленных цианистых солях: $40\% \text{KCN} + 60\% \text{NaCN}$.

Основным недостатком всех видов жидкого цианирования является дороговизна и ядовитость цианистых солей.

Нитроцементацией называют цианирование в газовых средах. При нитроцементации отпадает необходимость в применении цианистых солей, но сохраняется основное достоинство цианирования — сокращение длительности процесса. Так, при температурах $850\text{--}870^\circ\text{C}$

длительность нитроцементации составляет 2—10 ч. В качестве газовой среды применяют смеси науглероживающих газов с аммиаком. После нитроцементации производят закалку и низкий отпуск.

5. ДИФФУЗИОННАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Диффузионная металлизация — процесс диффузионного насыщения поверхности стальной детали металлами. Наиболее часто применяют насыщение алюминием (алитирование), хромом (хромирование), бором (борирование), а также кремнием (силицирование). Диффузионная металлизация нужна для повышения коррозионной стойкости, жаростойкости, износостойкости и твердости. Как и прочие виды химико-термической обработки, для этого процесса можно применять твердые, жидкие и газообразные среды. При применении твердых сред карбюризатором служит порошок сплава железа с соответствующим элементом: хромом, алюминием и т. п. (феррохром, ферроалюминий), в который добавляют небольшое количество хлористого аммония (NH_4Cl). Как и при цементации, изделия укладывают в металлический ящик и засыпают соответствующим карбюризатором. При нагреве ферросплав реагирует с хлористым аммонием и в результате образуются летучие, легкоразлагающиеся хлориды (AlCl_3 , CrCl_2 и т. п.). При соприкосновении с металлической поверхностью эти вещества диссоциируют с выделением активного элемента, диффундирующего в поверхность стальной детали. При насыщении в газовых средах применяют уже готовые газообразные хлориды. Жидкая металлизация производится погружением в расплавленный металл. Процесс диффузии при металлизации происходит значительно медленнее, чем при других видах химико-термической обработки, поэтому для получения даже очень тонких слоев требуется применение высоких температур и длительных выдержек.

Алитирование производят для повышения жаростойкости деталей, работающих при высоких температурах (до 900°C). Алитированный слой состоит из твердого раствора алюминия в феррите. На поверхности алитированной детали образуется тонкая пленка Al_2O_3 , защищающая от окисления.

Хромирование так же, как и алитирование, производят для повышения жаро- и коррозионной стойкости. Стали, содержащие более 0,3% С, при хромировании приобретают высокую твердость и износостойкость, вследствие образования на поверхности карбидов хрома, имеющих твердость до $HV 1200$.

Глава VI

ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Элементы, специально вводимые в сталь с целью придания ей требуемых свойств, называют *легирующими*, а сталь, содержащую такие элементы, называют *легируемой*.

По назначению легированные стали можно разделить на три группы: 1) легированная конструкционная, 2) легированная инструментальная и 3) стали и сплавы с особыми физическими и химическими свойствами.

Легирование конструкционной стали производят с целью повышения ее прочностных свойств. Поскольку наибольшее повышение прочности легированной стали может быть достигнуто только вследствие термической обработки, то второй задачей легирования стали является обеспечение закалки в больших сечениях, т. е. повышение прокаливаемости стали.

Легированные инструментальные стали, кроме лучшей термообрабатываемости, отличаются повышенной износостойкостью и теплостойкостью (красностойкостью).

При введении значительного количества легирующих элементов сталь приобретает новые свойства: большую коррозионную стойкость, жаропрочность, немагнитность или же, наоборот, приобретает очень большую коэрцитивную силу и т. п.

1. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ

Для легирования можно применять следующие элементы: Mn, Cr, Ni, W, Mo, V, Si, C, Ti, Al и т. д. Чтобы разобраться в причинах, вызывающих изменение

свойств стали при введении этих элементов, необходимо рассмотреть в отдельности их взаимодействие с железом и углеродом.

С железом легирующие элементы образуют твердые растворы, имеющие большую твердость и прочность, чем простой углеродистый феррит. Так, например, если

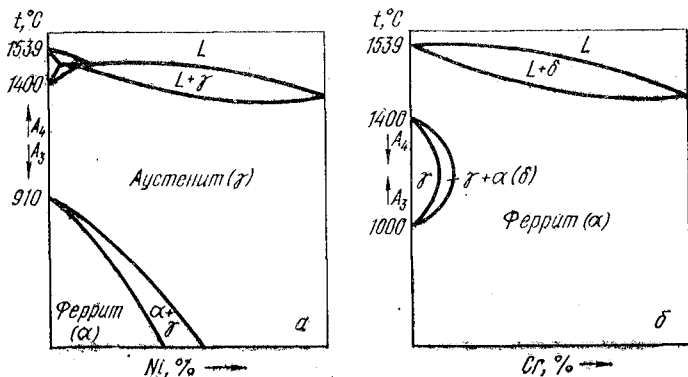


Рис. 51. Диаграммы состояния железа с легирующими элементами: а — элементы, увеличивающие устойчивость аустенита; б — элементы, уменьшающие устойчивость аустенита

твердость феррита составляет примерно $HV\ 50-60$, то при введении 5% Ni твердость вырастает до $HV\ 160$, а при введении 4% Mn — до $HV\ 230$. При большом содержании легирующих элементов образуются химические соединения, так называемые интерметаллиды, например $FeNi_3$. Интерметаллиды являются веществами очень твердыми и хрупкими и при их образовании твердость и хрупкость сплава возрастают.

Легирующие элементы изменяют температуру аллотропических превращений железа и тем самым увеличивают или уменьшают температурную устойчивость различных аллотропических модификаций. По влиянию на устойчивость той или иной аллотропической модификации элементы разделяются на две группы: элементы 1-й группы понижают температуру точки A_3 и повышают температуру точки A_4 , т. е. расширяют область существования легированного аустенита. К элементам этой группы относятся Ni и Mn. На рис. 51, а схе-

матически представлена диаграмма состояний сплавов железа с элементами этой группы. Как видно, при значительном количестве легирующего элемента точка A_3 столь значительно понижается, что аустенит может сохраняться при комнатных и более низких температурах. Таким образом, при введении в сталь значительного количества элементов этой группы сталь может получить аустенитную структуру; при этом она станет немагнитной, коррозионноустойчивой, очень пластичной и потеряет способность повышать твердость при закалке.

К элементам 2-й группы относятся: Cr, W, Mo, V, Al и др. В присутствии таких элементов повышается температура точки A_3 , а температура точки A_4 — понижается, что приводит к сужению области аустенита по температуре (рис. 51, б). При определенном для каждого элемента количестве область аустенита полностью замыкается и сталь приобретает только ферритную структуру. Стали со структурой феррита, легированные так же, как и аустенитные, пластичны и имеют высокую коррозионную стойкость, но в отличие от них магнитны.

По отношению к углероду все легирующие элементы также могут быть разделены на две группы. К 1-й группе относятся элементы, не образующие карбидов в стали: Ni, Co, Al, Si, не взаимодействующие с углеродом. Ко 2-й группе относятся элементы, образующие в стали карбиды. В порядке возрастания сродства к углероду эти элементы располагаются следующим образом: Fe, Mn, Cr, Mo, W, V, Ti. При небольшом количестве карбидообразующего элемента в стали образуется легированный цементит типа $(Fe, Me)_3C$, например $(Fe, Cr)_3C$. При значительных количествах легирующего элемента возникают сложные карбиды, имеющие кристаллическую решетку специального карбида, но содержащие в твердом растворе, кроме атомов легирующего элемента, атомы железа, например $(Cr, Fe)_{23}C_6$. Если же железо не может растворяться в решетке образующего карбида, возникает специальный карбид типа MoC, TiC и т. п. Карбиды, содержащие легирующие элементы, имеют большую твердость и более дисперсны, чем простой цементит, и поэтому присутствие их в легированной стали повышает ее прочность и твердость.

Легирующие элементы оказывают большое влияние на процессы, происходящие при термической обработке

стали. Так, при нагреве стали необходимо учитывать изменение температуры критических точек, а при охлаждении — возрастающую в большинстве случаев устойчивость переохлажденного аустенита и т. д.

Поскольку легирующие элементы оказывают влияние на аллотропические превращения железа, положение связанных с этим превращений линий на диаграмме железо — углерод должно изменяться. Действительно, как

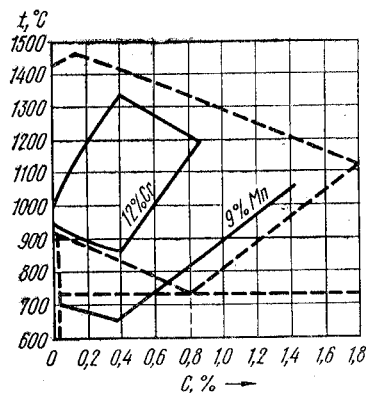


Рис. 52. Влияние легирующих элементов на положение критических точек диаграммы железо—карбид—железо

показано на рис. 52, при введении в сталь марганца, снижающего температуру перехода $\alpha \rightleftharpoons \gamma$, линия $GOS(A_3)$, соответствующая началу аллотропического превращения в доэвтектоидных сталях, проходит при более низких температурах, чем у простой углеродистой стали. Линия $PSK(A_1)$, соответствующая концу аллотропического превращения, также понижается. Противоположная картина наблюдается при введении в сталь хрома, повышающего температу-

ру перехода $\alpha \rightarrow \gamma$ и сужающего область существования аустенита. В этом случае критические температуры превращения повышаются. Степень смещения критических точек зависит от природы легирующего элемента и его количества. Под действием легирующих элементов эвтектическая (S) и эвтектоидная (C) точки смещаются не только по температуре, но и по концентрации. При указанных на рис. 52 концентрациях марганца и хрома перлит содержит примерно 0,3 и 0,4% С соответственно вместо 0,83% у углеродистой стали. Таким образом, введение легирующих элементов увеличивает количество карбидов в стали, что в свою очередь повышает твердость и прочностные характеристики легированной стали в сравнении с углеродистой при одинаковом содержании в них углерода.

ру перехода $\alpha \rightarrow \gamma$ и сужающего область существования аустенита. В этом случае критические температуры превращения повышаются. Степень смещения критических точек зависит от природы легирующего элемента и его количества. Под действием легирующих элементов эвтектическая (S) и эвтектоидная (C) точки смещаются не только по температуре, но и по концентрации. При указанных на рис. 52 концентрациях марганца и хрома перлит содержит примерно 0,3 и 0,4% С соответственно вместо 0,83% у углеродистой стали. Таким образом, введение легирующих элементов увеличивает количество карбидов в стали, что в свою очередь повышает твердость и прочностные характеристики легированной стали в сравнении с углеродистой при одинаковом содержании в них углерода.

ру перехода $\alpha \rightarrow \gamma$ и сужающего область существования аустенита. В этом случае критические температуры превращения повышаются. Степень смещения критических точек зависит от природы легирующего элемента и его количества. Под действием легирующих элементов эвтектическая (S) и эвтектоидная (C) точки смещаются не только по температуре, но и по концентрации. При указанных на рис. 52 концентрациях марганца и хрома перлит содержит примерно 0,3 и 0,4% С соответственно вместо 0,83% у углеродистой стали. Таким образом, введение легирующих элементов увеличивает количество карбидов в стали, что в свою очередь повышает твердость и прочностные характеристики легированной стали в сравнении с углеродистой при одинаковом содержании в них углерода.

Образование различных структур при закалке зависит от устойчивости переохлажденного аустенита. Введение легирующих элементов в сталь увеличивает устойчивость переохлажденного аустенита. На рис. 53 схематически показано взаимное расположение кривых изотермического распада для углеродистой (рис. 53, а) и легированной (рис. 53, б) сталей. Как следствие, легированные стали имеют меньшую критическую скорость за-

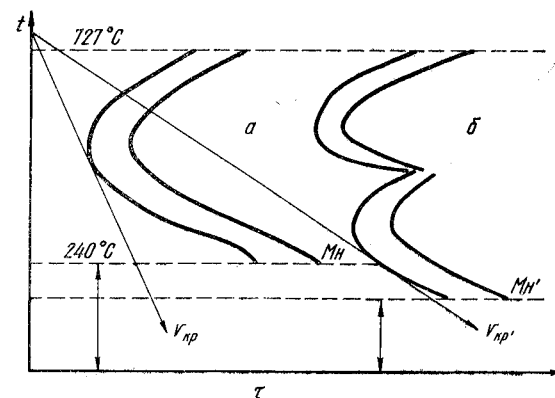


Рис. 53. Диаграмма изотермического превращения аустенита: а — углеродистая сталь; б — легированная сталь

калки, чем углеродистые, а следовательно, для закалки этих сталей можно применять более умеренные охлаждающие среды, как, например масло, расплавленные соли и т. п., и при этом твердость их будет такой же, как и у углеродистой стали при закалке в воде.

Уменьшение критической скорости закалки приводит также к увеличению прокаливаемости стали. Конструкционные хромоникелевые стали могут иметь сквозную прокаливаемость изделий диаметром свыше 200 мм. Возможность прокаливаемости изделий большого диаметра является одной из главных задач легирования конструкционных сталей.

Кроме увеличения устойчивости переохлажденного аустенита, при введении легирующих элементов может наблюдаться изменение формы кривой изотермического распада (рис. 53, б).

Все легирующие элементы, за исключением Al и Co, снижают температуру образования мартенсита (рис. 53), что приводит к возрастанию количества остаточного аустенита при закалке. При определенном составе температура мартенситообразования может снизиться ниже комнатной. В этом случае сталь при закалке сохранит аустенитную структуру, как это, например, происходит со сталью, содержащей 1% С и 4% Mn. Однако аустенитные стали, полученные закалкой, неустойчивы, поскольку при нагреве аустенит в таких сталях превращается в мартенсит.

Большое влияние оказывают легирующие элементы и на процесс отпуска стали. При высоком и среднем отпуске стали происходит распад аустенита и образование феррито-карбидной смеси, сорбита или троостита. Твердость такой смеси зависит от размера карбидов и тем больше, чем меньше их размер. Поскольку карбиды, содержащие легирующие элементы, всегда дисперснее, чем простой цементит, твердость отпущенной стали, содержащей легирующие элементы, всегда будет выше, чем углеродистой при одинаковой температуре отпуска. Замедляя рост карбидных частиц, карбидообразующие элементы одновременно сохраняют пересыщенность α -твердого раствора углеродом до температур 450—500°С, т. е. способствуют сохранению структуры отпущенного мартенсита. Прочностные свойства после отпуска у легированной стали будут выше, чем у углеродистой.

Однако в отличие от углеродистой легированная сталь чувствительна к способу охлаждения после отпуска. При медленном охлаждении после отпуска в интервале температур 550—600°С наблюдается падение ударной вязкости. Это явление называется отпускной хрупкостью. В случае, когда ускоренное охлаждение неприменимо из-за опасности остаточных напряжений, необходимо брать стали нечувствительные к отпускной хрупкости. К таковым относятся стали, содержащие в небольших количествах молибден и вольфрам (до 0,5 и 1,0% соответственно). Отпускная хрупкость наблюдается и при более низких температурах отпуска (300—350°С). Поскольку отпускная хрупкость при низких температурах отпуска неустранима, ее называют необратимой хрупкостью, и температуры, при которых она появляется, не

применяют при термической обработке. Легированные стали менее чувствительны к перегреву. Будучи более мелкозернистыми, чем углеродистые, они также сохраняют мелкое зерно при более высоких температурах нагрева, что уменьшает вероятность появления хрупкости при закалке.

2. МАРКИРОВКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Число, стоящее в начале маркировки, обозначает среднее содержание углерода. Если сталь конструкционная, то число это будет двузначным и укажет содержание углерода в сотых долях процента. Буквы указывают, какие легирующие элементы присутствуют в стали данной марки (табл. 4), а цифры, стоящие после букв — их количество в процентах. Если цифра отсутствует, то легирующий элемент содержится в количестве до 1%. Так, например, сталь 12ХН2 содержит 0,09—0,16% С; 0,6—0,9% Cr; и 1,5—1,9% Ni.

Таблица 4
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ МАРКИРОВКЕ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Химический символ	Маркировочное обозначение	Химический символ	Маркировочное обозначение
Mn	Г	Si	С
Cr	Х	Al	Ю
Ni	Н	Cu	Д
Mo	М	Nb	Б
W	В	Zr	Ц
V	Ф	V	Р
Ti	Т	P	П
Ce	К		

Буква А ставится в конце маркировки для обозначения высококачественных сталей, содержащих пониженное количество вредных примесей.

Содержание углерода у инструментальных сталей с особыми физическими и химическими свойствами указывается в десятых долях процента и обозначается одной цифрой. Например, инструментальная сталь 9ХС содержит от 0,8 до 0,9% С.

Если инструментальная сталь содержит более 1% С, то при маркировке углерод не обозначается; например, сталь ХВГ содержит 0,9—1,05% С. Буква О вначале маркировки у стали с особыми свойствами означает пониженное содержание углерода (менее 0,1%).

Некоторые легированные стали в соответствии с ГОСТом выделены в особые группы, которым присвоены условные буквенные обозначения, стоящие в начале маркировки и характеризующие назначение стали. Так, буква Р означает быстрорежущую сталь, Ш — шарикоподшипниковую, А — автоматную, Е — магнитную высококоэрцитивную, Э — электротехническую магнитномягкую сталь. Следует иметь в виду, что при такой маркировке цифры и буквы, следующие за обозначением группы, не всегда позволяют правильно расшифровать химический состав данной стали. Например, шарикоподшипниковая сталь ШХ15 содержит не 15% Сг, а примерно около 1,5%.

Нестандартные или неуспевшие войти в ГОСТ стали могут иметь заводскую маркировку, которая впоследствии часто сохраняется наряду с обозначением по ГОСТу. Например, завод «Электросталь» маркирует выплавленные им стали буквой Э и буквами И или П, что означает соответственно «исследовательская» и «пробная». После этих букв следует порядковый номер: ЭИ69, ЭП53 и т. п.

3. ЛЕГИРОВАННАЯ КОНСТРУКЦИОННАЯ СТАЛЬ

Легированная конструкционная сталь имеет более высокие механические свойства как в состоянии поставки, так и в особенности после термической обработки; она легче закаливается и прокаливается в больших сечениях, чем углеродистая сталь.

Низколегированная сталь применяется для изготовления сварных конструкций, трубопроводов и элементов строительных конструкций. Основными легирующими элементами этой группы сталей являются марганец и кремний. Во избежание значительного падения ударной вязкости их вводят в количестве не более 2%. Содержание углерода не должно превышать 0,1—0,2%. Кроме того, вне зависимости от маркировки все низколегированные стали содержат небольшие порядка 0,3—0,5% количества хрома, никеля и меди.

Легированная сталь обязательно подвергается терми-

ческой либо химико-термической обработке. В качестве химико-термической обработки применяется в основном цементация. В соответствии с этим легированную сталь разделяют на цементуемую и улучшаемую. К цементуемой относится малоуглеродистая легированная сталь (от 0,10—0,25% С); улучшаемая сталь может содержать до 0,50% С.

Основным легирующим элементом является хром, значительно повышающий прочностные характеристики термообработанной стали. Он присутствует в большинстве сталей этой группы в количестве $\leq 2\%$. Будучи более сильным карбидообразующим элементом, чем марганец, хром активно повышает твердость и прочность отпущенной стали, практически не снижая характеристик пластичности. Аналогично действуют и такие карбидообразующие элементы: как молибден, вольфрам, ванадий и др. Однако поскольку эти металлы дороже хрома, их обычно вводят не столько из-за необходимости повышения прочностных характеристик стали, сколько из-за их специфических свойств. Так, например, молибден и вольфрам устраняют отпусчную хрупкость, которой подвержены хромистые и хромоникелевые стали.

Для получения высоких механических свойств по всему сечению крупногабаритных деталей в легированную сталь вводят марганец и никель, интенсивно увеличивающие прокаливаемость стали. Что касается прочностных свойств, то марганец и в особенности никель оказывают на них значительно меньшее влияние, чем такие элементы, как хром, молибден, вольфрам, ванадий и т. п.

В табл. 5 показано изменение механических свойств при введении различных легирующих элементов. Легированные стали выбраны таким образом, чтобы содержание углерода в них соответствовало таковому у углеродистой стали 40. Помимо воздействия на механические свойства, отдельные элементы имеют и другие функции. Так, никель увеличивает прокаливаемость, молибден уничтожает отпусчную хрупкость, алюминий повышает твердость азотированного слоя; поэтому, например, сталь 38ХМЮА и применяется для изготовления азотируемых деталей.

Легированная сталь по ГОСТу подразделяется на 14 групп, названия которых определяются содержащимися в них элементами: хромистая, марганцовистая, хро-

Таблица 5

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

Марка стали	Термообработка, °С		Механические свойства			
	закалка	отпуск	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ , %	$a_{H'}$, кгс·м/мм ²
40	850	500	75	55	6	6
40X	850	500	100	80	9	6
40XН	820	500—550	100	80	11	7
40XНМА	850	600	110	95	12	8
38XМЮА	930	650	105	85	18	9

момарганцовая и т. д. Рассмотрим некоторые из этих групп, наиболее широко применяемые в машиностроительном производстве.

Хромистая сталь имеет более высокие прочностные характеристики, чем углеродистая, в особенности в термически обработанном состоянии. Цементуемые хромистые стали: 15X, 15XA, 15XP, 15XPA, 20X, 20XP применяют для изготовления износостойких деталей, работающих при средних скоростях и удельных давлениях, таких как пальцы, оси, толкатели, плунжеры, шестерни и т. п. Улучшаемые стали 30X, 30XPA, 35X, 35XPA, 38XA, 40X, 40XP, 45XЦ, 45X, 50X применяют для изготовления таких деталей, как валы, оси шестерни, втулки, пальцы. Стали 38XA, 40X, 40XP идут также на изготовление муфт, кривошипов, фрикционных дисков, роторов турбокомпрессоров и т. п. Хотя прокаливаемость хромистой стали больше, чем углеродистой, все же она не очень велика (около 20 мм при закалке в масле), поэтому хромистая сталь применяется в основном для изготовления деталей небольших размеров. Стали, содержащие бор, имеют большую прокаливаемость. Стали 45X и 50X склонны к трещинообразованию при закалке в воде.

Марганцовистая сталь выпускается следующих марок: 10Г2, 35Г2, 40Г2, 25Г2 и 50Г2. Сталь 10Г2 отличается высокой пластичностью и хорошей свариваемостью и применяется для изготовления змеевиков, фланцев, штуцеров, пучков труб и крепежных деталей. Она может также работать при низких температурах (до -70°C).

20XН3А, 20X2Н4А, 20XН относятся к окислению электрохимического железа с хромом в зависимости от содержания хрома. В соответствии со скачкообразным изменением электрохимического потенциала коррозионной стойкости при медленном охлаждении стали, содержащей хром, также скачкообразно (рис. 54, б) изменяется химическая стойкость сплавов, содержащих менее 12% Cr, под действием агрессивных сред. Сплавы, содержащие хрома более 13—15%, имеют отрицательный потенциал и обладают высокой коррозионной стойкостью на воздухе, в воде, в щелочных и других агрессивных средах.

Хромомарганцевые стали или окалиностойкими называют стали, содержащие хром и марганец, которые при высоких температурах жаростойкости. Жаростойкость — способность сплавов выдерживать высокие температуры без значительного изменения количества хрома, алюминия и кремния. Эти легирующие элементы образуют окислы, которые препятствуют взаимной диффузии кислорода и железа, прочны и плотно соединяются с поверхностью сплава. С увеличением концентрации легирующего элемента жаростойкость сплава возрастает. Так, сталь 12X13 окалиностойка до 750°C , 12X17 до 850°C и 15X28 — до 1100°C . Сталь 18X1 ввиду высокой коррозионной стойкости стали, как и наиболее крупнозернистая и вязкая сталь, легированная бором, следует отнести к высокопрочным. Прочность стали 18XГТ следует отнести к высокопрочным. Прокаливаемость: около 25 мм при закалке в воде и 12 мм при закалке в масле. Стали 40XГ, 40XГР, 35XГ2 применяют после улучшения или закалки т. в. ч. Хромомарганцевые стали, как более дешевые, применяют вместо дорогих хромоникелевых.

Хромокремнемарганцевую сталь применяют для изготовления износостойких деталей машин и ответственных сварных конструкций. Выпускаются марки: 20XГСА, 25XГСА, 30XГСА, 30XГСНА и 35XГСА. Термическая обработка заключается в закалке и низком или высоком отпуске.

Хромоникелевые стали, как и другие более сложные легированные стали, содержащие никель, применяют для изготовления сильно нагруженных деталей больших размеров, поскольку никель значительно увеличивает прокаливаемость стали. Никель один из немногих легирующих элементов, который, повышая прочность стали, не снижает ее вязкости, поэтому хромоникелевые стали отличаются высокой прочностью и одновременно большим запасом вязкости. Марки 12XН2, 12XН3А, 12X2Н4А,

ние углерода в маркировке не указано, то это означает, что оно составляет менее 0,15%; если марка начинается с О — содержание углерода не превышает 0,08%.

Основными легирующими элементами коррозионно-стойких сталей являются хром, никель и марганец.

Промышленность выпускает нержавеющую хромистую сталь пяти марок (08X13, 12X13, 20X13, 30X13 и 40X13). Хромистые нержавеющие стали обладают удовлетворительной стойкостью в условиях загрязненного воздуха, воды, пара, в растворах щелочей слабой концентрации, в несоленых мясных продуктах и других слабо агрессивных средах. Для деталей машин, требующих наличия пластичности и подвергающихся ударным нагрузкам (турбинные лопатки, штоки, валы и т. п.), применяют стали марок 08X13, 12X13, 20X13 после закалки и высокого отпуска. Микроструктура термообработанной стали состоит из феррита и сорбита, вытянутых полосами вдоль направления прокатки. Стали 30X13 и 40X13 после закалки и низкого отпуска имеют высокую твердость и применяются для изготовления ножей, хирургического и другого инструмента и пружин. Наибольшая коррозионная стойкость перечисленных сталей достигается после термической обработки и полирования.

При увеличении содержания хрома или при добавлении небольших количеств никеля к хромистой стали стойкость возрастает. Так, сталь 15X28 может работать в средах повышенной агрессивности.

Сталь типа 14X17H2 обладает наибольшей коррозионной стойкостью после закалки и низкого отпуска и в этом состоянии отличается высокой прочностью. Ее применяют для изготовления тяжело нагруженных деталей, работающих на истирание и при ударных нагрузках в агрессивных средах.

Дальнейшее повышение коррозионной стойкости может быть достигнуто совместным легированием хромом и большими количествами никеля или марганца. В этом случае сталь приобретает аустенитную структуру и не имеет аллотропических превращений. У таких сталей меньше характеристики прочности, чем у хромистых, и большая пластичность. В отличие от хромистых хромоникелевые и хромомарганцовоникелевые стали немагнитны. Такие стали, как 0X18H10T, X17H13M2T и др. широко применяют для сварных конструкций, работающих в

высоко агрессивных средах (фосфорной, молочной кислоте и т. п.).

Хромистые и хромоникелевые стали в той или иной мере склонны к интеркристаллитной коррозии, т. е. к разрушению металла по границам зерен в результате проникновения коррозионной среды. Уменьшение склонности к интеркристаллитной коррозии достигается введением небольшого количества титана (около 0,5%), связывающего углерод в карбиды титана и тем самым препятствующего образованию карбидов хрома, или же снижением содержания углерода в стали (до 0,04%).

Жаропрочными называются стали, сохраняющие достаточную механическую прочность при высоких температурах и имеющие небольшую скорость ползучести. Основными легирующими элементами являются хром и никель в значительных количествах, обеспечивающие высокую жаростойкость и аустенитную структуру. Для дальнейшего упрочнения сплава и уменьшения скорости ползучести добавляют тугоплавкие металлы: молибден, ниобий, вольфрам и др.

При рабочих температурах порядка 500—600° С применяют стали типа сильхромов, имеющие в рабочем состоянии мартенситную структуру: 40X9C2 и др. Различные марки сильхромов содержат углерода от 0,15 до 0,5%. Сильхромы применяют для изготовления впускных и выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания и для печного оборудования.

При температурах порядка 600—700° С применяют аустенитные стали типа 12X18H10T, 45X14H14B2M и т. д. Эти стали пластичны и достаточно хорошо свариваются.

Износостойкие стали могут быть весьма различными по своим механическим свойствам и строению. Различают износ контактный и абразивный. Контактный износ имеет место при трении одной поверхности о другую, сопровождаемом давлением или ударами. Абразивным износом называют истирание металлической поверхности в результате трения о нее твердых частиц, движущихся в струе жидкости или газа вдоль этой поверхности.

При абразивном износе износостойкость металла пропорциональна его твердости и поэтому применяют стали типа ШХ15 и др., получающие высокую твердость после термической обработки.

При работе на трение с давлением и ударами приме-

няют высокомарганцовистые аустенитные стали типа стали Гадфильда Г13, содержащие 1,2% С и 13% Мп. Их применяют для изготовления деталей экскаваторов, камнедробилок и т. п. Износостойкость стали Г13 объясняется ее способностью упрочняться при пластической деформации (наклепываться).

Б. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Требования, предъявляемые к инструментальным материалам, зависят от вида изготавливаемых из них инструментов: режущие, ударно-штамповые, или измерительные. Однако имеются и общие требования для всех инструментальных материалов — это высокая твердость, хорошая износостойкость, высокая прочность при удовлетворительной вязкости. Кроме того, инструментальные стали должны легко закаливаться. В случае, если инструмент нагревается в процессе работы, сталь должна иметь высокую теплостойкость (красностойкость).

Инструментальная легированная сталь для режущего инструмента. К числу недостатков углеродистых сталей относится низкая теплостойкость — твердость сохраняется лишь при нагреве до 200° С, — и небольшая прокаливаемость: критический диаметр при закалке в воде равен 10—12 мм, в масле — 5—6 мм. Поэтому углеродистую сталь можно применять для инструмента небольшого диаметра, либо для неполовностью прокаливающегося инструмента (напильников, зенкеров и др.).

Низколегированные инструментальные стали содержат в сумме от 1 до 6% легирующих элементов и от 0,9 до 1,2% С. По сравнению с углеродистыми, они обладают большей прокаливаемостью и лучшей закаливачемостью. По теплостойкости малолегированные стали практически не отличаются от углеродистых. Несколько большую теплостойкость имеют стали, содержащие кремний: 9ХС и ХВСГ. Основными легирующими элементами этой группы сталей являются хром, вольфрам или ванадий. Будучи сильными карбидообразователями эти элементы несколько увеличивают твердость закаленной стали и значительно повышают ее износостойкость. Так, сталь ХВ5 после закалки в воде может иметь твердость до HRC 70 и в масле — до HRC 65. Увеличение прокали-

Таблица 6

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Марка стали	Термическая обработка, °С		Твердость HRC	Критический диаметр при закалке в масле, мм
	закалка	отпуск		
11Х	845	150	62—65	7—10
13Х	790	110	65—67	7—10
9ХС	870	150	62—65	15—50
ХВСГ	850	150	62—64	До 80
ХВГ	830	150	62—65	15—70

ваемости вследствие введения хрома, вольфрама и ванадия невелико, поэтому в некоторые стали введен марганец, значительно увеличивающий прокаливаемость стали. В табл. 6 приведены режимы термической обработки, твердость и критические диаметры некоторых марок легированных инструментальных сталей.

Содержание углерода в марках 11Х и 13Х более 1% (1,1—1,3%). Из стали 11Х и 13Х изготавливают шаберы, хирургический инструмент, а также напильники (11Х), бритвенные ножи и лезвия (13Х); из сталей 9ХС и ХВСГ — ручные сверла, развертки, плашки, гребенки; сталь ХВГ служит для изготовления протяжек и измерительного инструмента.

Высоколегированные инструментальные стали называют быстрорежущими. Они обладают высокой износостойкостью и красностойкостью (рис. 55) и служат для инструмента, работающего при больших скоростях резания, и для обработки труднообрабатываемых материалов. По режущим свойствам быстрорежущие стали разделяются на три группы: 1) нормальной производительности; 2) повышенной производительности и 3) пониженной производительности.

К сталям нормальной производительности относятся марки Р18, Р9, Р18Ф2, Р12, Р6М3Ф2. Буква Р в маркировочном обозначении указывает на принадлежность стали к группе быстрорежущих, а следующая за ней цифра показывает среднее содержание вольфрама в процентах. Эта группа сталей обладает красностойкостью до 620° С, сохраняя при такой температуре твердость не ниже HRC 60. Их применяют для резания конструкцион-

ных сталей, подвергавшихся улучшению, и чугуна с твердостью не более *HV* 300. Стали повышенной производительности обладают красностойкостью до 650°С и применяются для резания труднообрабатываемых материалов. Помимо вольфрама, эта группа сталей содержит значительное количество ванадия и кобальта (Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5, Р18Ф2К5). Стали пониженной производительности обладают красностойкостью до 600°С; они менее легированы и дешевле сталей двух предыдущих групп. К этой группе относятся марки Р4 и Р7Т, которые служат для изготовления ножовочных полотен, метчиков и деревообрабатывающего инструмента.

Высокие режущие свойства у быстрорежущей стали могут быть получены лишь после термической обработки.

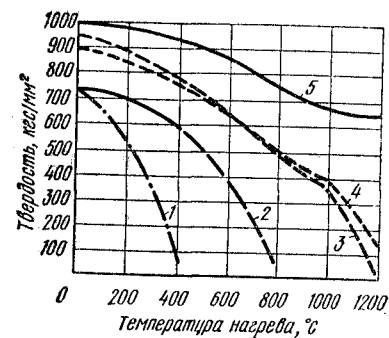


Рис. 55. Изменение твердости инструментальных материалов в зависимости от температуры нагрева:

1 — углеродистая сталь; 2 — быстрорежущая сталь; 3 — сплав ВК8; 4 — сплав Т15К6; 5 — микролит ЦМ-332

ре 720°С, что позволяет применять медленное охлаждение при закалке (масло, горячие среды).

После закалки для стали Р18 применяется трехкратный отпуск при температуре 560°С. Длительность каждого отпуска составляет 1 ч. При нагреве на 560°С из остаточного аустенита выделяются легированные карбиды, вследствие чего аустенит обедняется легирующими элементами и при охлаждении с температуры отпуска превращается в мартенсит. В результате твердость быст-

рорежущей стали после отпуска возрастает. После третьего отпуска остаточного аустенита остается не более 3%. Микроструктура быстрорежущей стали после закалки и отпуска состоит из мелкоигльчатого мартенсита и равномерно распределенных в нем карбидов.

Инструментальные легированные стали для ударно-штампового инструмента должны обладать высокой твердостью и износостойкостью.

Стали для штампов холодной штамповки, кроме указанных свойств, должны мало деформироваться при термической обработке, поскольку нарушение геометрии штампа вызовет изменение формы изделия. Для изготовления штампов могут применяться стали Х (ШХ15), ХВГ и стали: 9ХС, Р4 и т. п. Для изготовления штампов с малыми объемными изменениями применяют стали, содержащие 12% Сг и 1—1,5% С (Х12, Х12М и т. п.). Структура этих сталей после закалки и низкого отпуска состоит из мартенсита и карбидов.

Штампы для горячей штамповки при работе соприкасаются с металлом, нагретым до высоких температур, и поэтому сталь для таких штампов должна сохранять достаточную твердость и износостойкость при нагреве до температур порядка 600°С, т. е. при температурах высокого отпуска. Для увеличения твердости и красностойкости эти стали легируют хромом, молибденом и вольфрамом, для повышения прокаливаемости — никелем и марганцем (5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ). Содержание углерода сравнительно невелико (0,5—0,6%), что обеспечивает достаточно высокую ударную вязкость. После закалки и высокого отпуска твердость этих сталей составляет *HV* 350—450.

Металлокерамические твердые сплавы применяются для изготовления как режущего, так и ударно-штампового инструмента. Получают их путем спекания порошков карбидов вольфрама и титана с порошком кобальта. Инструмент, изготовленный с применением твердых сплавов, сохраняет твердость и износостойкость при нагреве до 900°С (рис. 55). Твердость карбидов вольфрама и титана раза в 3—4 превышает твердость закаленной стали; именно они и сообщают высокие режущие свойства твердым сплавам, а кобальт служит связующей основой.

По ГОСТу твердые сплавы разделяются на три группы. Группа ВК — вольфрамокобальтовые сплавы — со-

Таблица 7

СОСТАВ (%) И СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Группа	Марка	WC	TiC	Co	σ_B , кгс/мм ²	HRC
BK	BK2	98	—	2	100	90
	BK6	94	—	6	135	98,5
	BK15	85	—	15	165	86
	BK30	70	—	30	200	82,5
TK	T30K4	66	30	4	90	92
	T15K6	79	15	6	110	90
	T5K10	85	5	10	130	88,5

держат только карбид вольфрама и кобальт, цифра за буквой К указывает количество кобальта. Группа ТК — титановольфрамокобальтовые сплавы — содержит, кроме кобальта, карбиды вольфрама и титана; цифра, стоящая после буквы Т, указывает количество карбида титана. Группа ТК содержит дополнительно карбид тантала, в табл. 7 приведены состав и свойства некоторых металлокерамических твердых сплавов.

Сплавы группы ТК имеют большую красностойкость, меньший коэффициент трения и применяются для обработки стали. Для обработки чугуна, цветных металлов и неметаллических материалов применяются сплавы группы BK. Марки с большим содержанием кобальта (BK20, BK30) применяются для изготовления штампового инструмента и деталей машин, работающих при значительных ударных нагрузках.

Глава VII

СПЛАВЫ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Цветные металлы, несмотря на большую стоимость по сравнению с черными, широко применяют в различных отраслях техники, поскольку они обладают рядом ценных природных свойств: высокой тепло- и электропроводностью, хорошей коррозионной стойкостью, небольшой плотностью и т. п. В технике находят применение

олово, никель, медь, алюминий, магний, цинк, свинец и их сплавы. В машиностроении широко применяют сплавы меди, алюминия, олова и свинца. Чистые металлы не применяют ввиду их малой прочности.

1. СПЛАВЫ МЕДИ

Чистая медь имеет своеобразный розовато-красный цвет, обладает хорошей тепло- и электропроводностью, хорошей коррозионной стойкостью во влажной атмосфере.

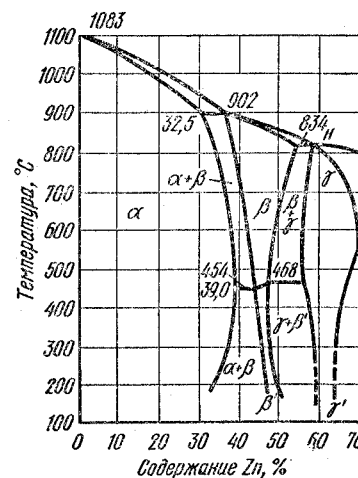


Рис. 56. Часть диаграммы состояния медь—цинк

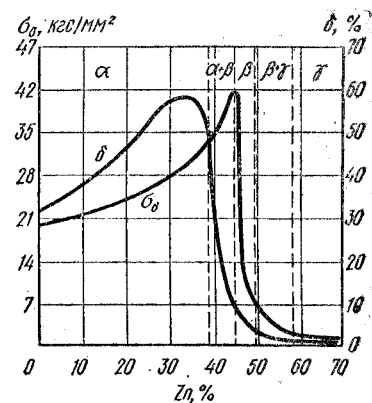


Рис. 57. Влияние цинка на механические свойства латуни

ре и в воде, пластична и легко обрабатывается давлением; плотность меди $8,94 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1083°C . Механическая прочность меди невелика. Так, литая медь имеет предел прочности около 20 кгс/мм^2 и твердость порядка *HВ* 35. При деформировании медь значительно упрочняется, при этом ее предел прочности может повыситься до 50 кгс/мм^2 , твердость до *HВ* 120.

В качестве конструкционного материала применяют сплавы меди: латуни, оловянные и специальные бронзы (алюминиевые, бериллиевые, свинцовые и др.).

Диаграмма состояний сплавов Cu—Zn представлена на рис. 56. Как видно, при содержании цинка до 30—35%

образуется α -твердый раствор на основе решетки меди, близкой по свойствам к чистой меди, но обладающий большей пластичностью и прочностью (рис. 57). Дальнейшее увеличение количества цинка приводит к образованию новых твердых растворов с кристаллической решеткой β и γ . Сравнительно с α -твердым раствором твердые растворы β и γ имеют повышенную твердость и хрупкость, поэтому их присутствие в сплаве в свою очередь повышает его твердость и хрупкость. При значительном содержании цинка в сплаве он становится столь хрупким, что его прочностные характеристики начинают снижаться и сплав уже нельзя применять в качестве конструктивного материала. Поэтому в применяемых на практике сплавах меди с цинком содержится не более 42% Zn. Аналогичная картина наблюдается и при легировании меди оловом, алюминием, кремнием и др. Вначале образуется пластичный и достаточно прочный α -твердый раствор, а затем появляются другие фазы, вначале упрочняющие сплав, а затем резко снижающие прочностные характеристики вследствие охрупчивания сплава. Сплавы, имеющие структуру α -твердого раствора, легко обрабатываются давлением; сплавы, содержащие помимо α и другие фазы, иногда столь тверды и хрупки, что изделия и заготовки из них могут быть получены только путем изготовления отливок. Поэтому все сплавы меди по технологическим признакам разделяют на литейные и деформируемые. При маркировке медных сплавов согласно ГОСТу приняты следующие обозначения:

А — алюминий	Б — бериллий	Ж — железо
К — кадмий	Мц — марганец	Н — никель
О — олово	С — свинец	Л — латунь
Ц — цинк	Ф — фосфор	Бр — бронза

Сплавы меди с цинком называются латунями, сплавы с оловом и другими элементами называются бронзами.

Латунь разделяется на латунь простую (двойную) и специальную, содержащую, кроме меди и цинка, также никель, железо, алюминий и другие элементы. В обозначении марки у простой латуни после буквы Л следует цифра, означающая среднее содержание меди. Например, латунь Л68 содержит 68% Cu. Специальные латуни содержат буквы и цифры, соответствующие дополнительному компоненту. По структуре простые латуни раз-

деляются на однофазные относительно мягкие и пластичные α -латуни и твердые двухфазные $\alpha+\beta$ -латуни.

Чем больше меди в латуни, тем она пластичней, тем выше ее коррозионная стойкость и тепло- и электропроводность. При повышении содержания цинка эти свойства уменьшаются, но повышается прочность, улучшается обрабатываемость резанием и снижается стоимость. Свинец улучшает обработку латуней резанием и антифрикционные свойства. Марганец и, особенно, олово повышают прочностные свойства латуней и коррозионную стойкость. Алюминий, помимо повышения коррозионной стойкости и прочности латуней, увеличивает также их жидкотекучесть. Деформируемые латуни значительно упрочняются при обработке давлением; разупрочнение достигается отжигом при 600° С.

Латуни всех марок стойки в пресной воде и весьма стойки в сухом паре. В среде аммиака латуни не стойки и имеют относительную стойкость в воде, содержащей хлористые соли.

Оловянные бронзы в качестве основного легирующего элемента содержат олово; помимо олова, они могут быть также легированы фосфором, цинком, свинцом и рядом других элементов. Бронзы более тверды и менее пластичны, чем латуни. Обрабатывать давлением можно бронзы, содержащие не более 5—6% Sn. При более высоком содержании олова, когда появляются участки твердого и хрупкого эвтектоида, бронзы могут служить только литейным материалом. Особенно ценным свойством оловянных бронз как литейного материала является малая усадка (0,8%). Оловянные бронзы обладают высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в пресной и морской воде, хорошими антифрикционными и упругими свойствами. Из оловянных бронз изготавливают детали водяной и паровой аппаратуры, прокладки подшипников и втулок, пружины, червячные колеса и другие детали, работающие на трение. Маркируются бронзы буквами и цифрами, указывающими легирующий элемент и его количество. Так, например, арматура и сложное фасонное литье изготавливают из бронзы БрО-10, содержащий 10% Sn. Бронза БрОФ 10-1 служит для изготовления подшипников, шестерен, втулок; благодаря присутствию 1% Р эта бронза имеет хорошие антифрикционные свойства.

Алюминиевые бронзы благодаря высоким механическим свойствам, хорошей обрабатываемости и коррозионной стойкости являются широко применяемым конструкционным материалом. Так, предел прочности одной из наиболее распространенных алюминиевых бронз БрАЖ 9-4 равен примерно 55 кгс/мм^2 , а твердость составляет $HV 140-160$. Из алюминиевых бронз изготавливают шестерни, втулки, подшипники, пружины и другие детали.

Бериллиевая бронза после закалки и отпуска при температуре $300-350^\circ\text{C}$ имеет высокие механические свойства, в том числе большой предел упругости, величина которого практически не меняется при температурах до $350-400^\circ\text{C}$. Это делает бериллиевую бронзу незаменимым материалом при изготовлении деталей точного приборостроения: пружин, мембран, пружинящих элементов электронных приборов и устройств. Так, бронза БрБ2 после термической обработки имеет предел прочности около 125 кгс/мм^2 , предел текучести примерно 35 кгс/мм^2 и твердость $HV 350$.

Свинцовые бронзы являются хорошим подшипниковым материалом и по антифрикционным свойствам превосходят другие медные сплавы. Широко применяется для изготовления подшипников бронза БрС30, содержащая 30% Рв. Теплопроводность свинцовых бронз в четыре раза превышает теплопроводность оловянных, поэтому они хорошо отводят тепло, возникающее при трении.

2. СПЛАВЫ АЛЮМИНИЯ

Алюминий — пластичный металл светло-серебристого цвета, имеет малую плотность ($2,7 \text{ г/см}^3$) и высокую коррозионную стойкость. На поверхности алюминия всегда присутствует прочная и плотная окисная пленка, оказывающая защитное действие в атмосферных условиях, в незагрязненной морской воде, в парах воды, в уксусной и лимонной кислотах. Алюминий быстро растворяется в соляной и разбавленной азотной кислотах и имеет низкую коррозионную стойкость в щелочных средах. Технический алюминий марок АД и АД1 в отожженном состоянии имеет предел прочности около 8 кгс/мм^2 , а в наклепанном 14 кгс/мм^2 . Чистый алюминий применяется для изготовления различных емкостей лотков и т. п. и

для изготовления предметов широкого потребления. В машиностроении применяются сплавы алюминия, которые разделяются на литейные и деформируемые.

Литейные алюминиевые сплавы применяют для фасонного литья; они обладают малой усадкой и хорошей жидкотекучестью. Более широкое применение в качестве литейных сплавов получили сплавы алюминия с кремнием (силумины), содержащие от 5—8 до 11—14% Si. Наибольшая прочность сплава достигается при модифицировании силумина натрием (0,1%). Так, модифицированный силумин АЛ2 имеет $\sigma_B = 18 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma_{0,2} = 9 \text{ кгс/мм}^2$ и $\delta = 5\%$.

Литейные алюминиевые сплавы могут, кроме кремния, содержать магний и марганец. Их маркируют буквами АЛ и порядковым номером.

Деформируемые алюминиевые сплавы поступают к потребителю в виде разнообразных полуфабрикатов: прутков, листов, проволоки, фольги и т. п. Представителем этой группы сплавов является дюралюминий, содержащий в качестве основного компонента медь. Существует несколько марок дюралюминия, отличающиеся между собой характером и количеством дополнительных легирующих элементов (Mg, Mn, Ti и др.). Маркируют дюралюминий буквой Д и порядковым номером, например Д1, Д16 и т. п.

Сплавы типа дюралюминия подвергают термической обработке, состоящей из закалки и естественного или искусственного старения. Медь с алюминием образует ограниченный α -твердый раствор с максимальной концентрацией меди 5,65% при 548°C (рис. 58). При понижении температуры растворимость меди значительно уменьшается, и из α -раствора выделяются кристаллы химического соединения (интерметаллид Al_2Cu , очень твердое и хрупкое вещество). Если сплав, содержащий,

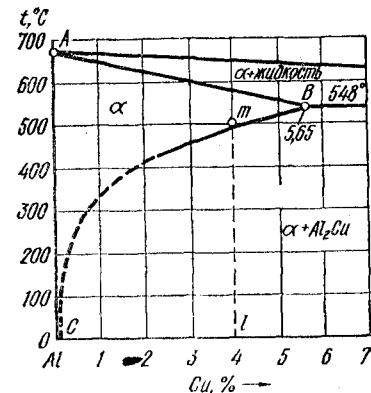


Рис. 58. Часть диаграммы состояния алюминий—медь

например, 4% Cu (вертикаль *mi* на рис. 70), нагреть до температуры выше линии *BC* и затем резко охладить, то при комнатной температуре сохранится структура пересыщенного α' -твердого раствора. Нагрев этого раствора

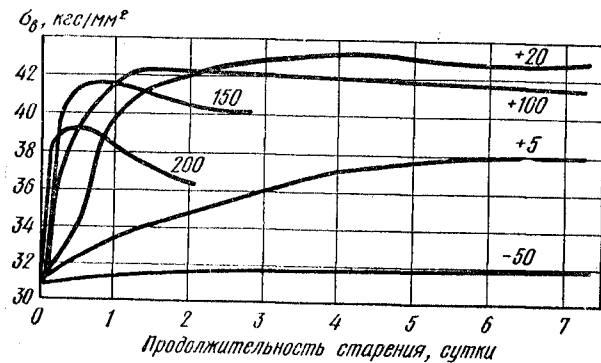


Рис. 59. Влияние режима старения на предел прочности дюралюминия. Цифры у кривых — температура, °C

до температур, при которых может происходить диффузия меди в алюминии, вызовет образование и выделение из твердого раствора кристаллов Al_2Cu , размеры кото-

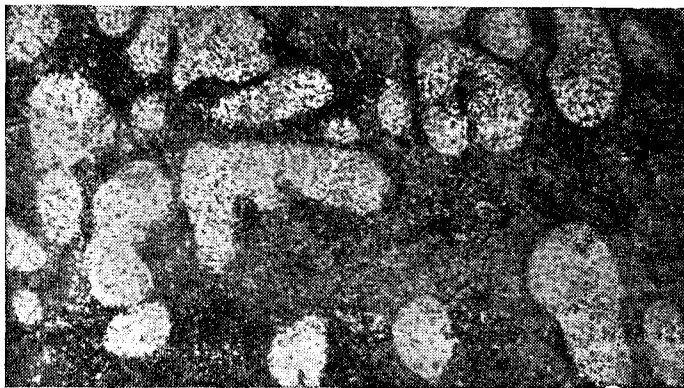


Рис. 60. Микроструктура модифицированного силумина

рых будут зависеть от температуры нагрева. Чем ниже температура нагрева, тем дисперснее будут частицы Al_2Cu и тем больший упрочняющий эффект они окажут

на сплав. Повышение твердости и прочности сплава в результате выделения твердых дисперсных частиц называется дисперсионным твердением или старением. На рис. 59 показано увеличение предела прочности дюралюминия в зависимости от режима старения. Старение, происходящее при нагреве, называют искусственным старением, а старение при комнатной температуре — естественным. Микроструктура термообработанного дюралюминия состоит из разноокрашенных кристаллов α' -твердого раствора и мельчайший включений упрочняющей фазы (рис. 60). Упрочняющий эффект старения зависит от состава сплава; так сплав Д16, содержащий, кроме меди, еще и магний, после старения имеет $\sigma_b = 52$ кгс/мм² и твердость *НВ* 130, что соответствует механическим свойствам углеродистых сталей.

3. АНТИФРИКЦИОННЫЕ СПЛАВЫ

Антифрикционные сплавы применяют для изготовления вкладышей подшипников скольжения. Эти сплавы должны обладать небольшим коэффициентом трения, хорошей прирабатываемостью, небольшой твердостью, высокой теплопроводностью, способностью образовывать коллоидные продукты истирания, защищающие шейку вала от износа, высокой ударной вязкостью и микропористостью для удержания смазки. Для удовлетворения основных требований, предъявляемых к антифрикционным материалам, структура сплава должна состоять из пластичной основы с расположенными в ней твердыми кристаллами другой какой-либо фазы.

В качестве антифрикционных сплавов применяют бронзы, антифрикционные чугуны, баббиты и порошковые подшипниковые материалы. Все указанные материалы, за исключением баббитов, рассматриваются в соответствующих разделах.

Баббиты — это мягкие подшипниковые сплавы на основе олова и свинца. На рис. 61 показана микроструктура баббита Б83, содержащего 83% Sn, 11% Sb и 6% Cu. Основой сплава служит твердый раствор сурьмы и меди в олове, светлые же включения являются твердыми химическими соединениями: более крупные — $SnSb$ и мелкие, тонкие — Cu_6Sn_5 . Баббиты Б83 и Б89 хорошо сопро-

тивляются ударным нагрузкам и имеют минимальный коэффициент трения 0,005 (со смазкой); поэтому их применяют при изготовлении ответственных подшипников паровых турбин, дизелей, электродвигателей и т. п.

Находят также широкое применение марки антифрикционных сплавов, у которых олово частично или полно-

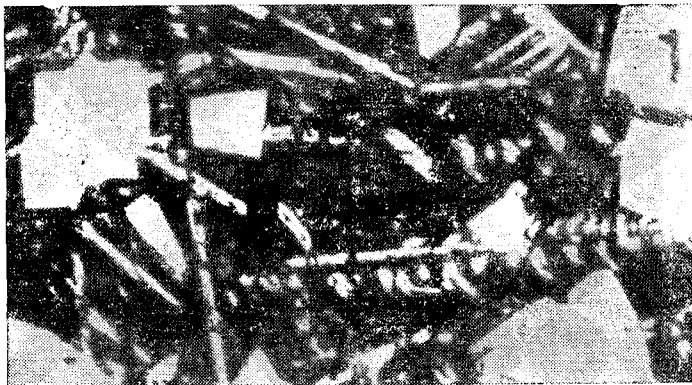


Рис. 61. Микроструктура баббита Б83

стью заменено свинцом: Б16, Б6, БТ, БК и т. д. Однако эти баббиты имеют меньшую износостойкость и коррозионную стойкость и худшие литейные свойства.

4. ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ

Титан относится к группе тугоплавких металлов, его температура плавления равна 1668°C . Титан имеет две аллотропические модификации α и β . Модификация α — низкотемпературная и существует при нагреве до $882,5^{\circ}\text{C}$, имеет гексагональную решетку. При температуре $882,5^{\circ}\text{C}$ α -модификация переходит в β -модификацию, имеющую объемноцентрированную кубическую решетку. При переходе α -титана в β -титан объем металла несколько уменьшается, а электропроводность скачкообразно возрастает.

Основными достоинствами титана являются малая плотность ($4,5\text{ г/см}^3$), большая коррозионная стойкость и высокая механическая прочность. Несмотря на то, что титан химически весьма активен и легко реагирует с

большим количеством элементов, он обладает высокой коррозионной стойкостью благодаря защитному действию образующейся на его поверхности прочной и плотной окисной пленки. В большинстве коррозионных сред титан и его сплавы имеют более высокую стойкость, чем кислотостойкие стали и алюминий. Механические свойства технического титана марки ВТ1-1 следующие: $\sigma_{\text{в}} = 60\text{ кгс/мм}^2$, $\delta = 20\%$.

При введении легирующих элементов можно получать сплавы, обладающие высокой механической прочностью. Основными легирующими элементами являются Al, Sn, Mn, Cr, Mo, V. Легирующие элементы влияют на устойчивость аллотропических модификаций титана. В соответствии с влиянием легирующих элементов на аллотропические превращения титановые сплавы классифицируются по структуре следующим образом: 1) α -титановые сплавы, структура которых состоит из α -фазы (например, сплав ВТ5-1); 2) $\alpha+\beta$ -сплавы, в структуре которых присутствуют обе фазы (ВТ3-1, ВТ6); 3) β -сплавы, структура которых состоит из механически стабильной β -фазы (ВТ15); двухфазные ($\alpha+\beta$)-сплавы и β -сплавы в отличие от α -сплавов упрочняются термической обработкой. Так, сплав ВТ15 после закалки и старения имеет $\sigma_{\text{в}} = 130 \div 150\text{ кгс/мм}^2$.

Сплавы титана обладают не только более высокой механической прочностью, но и большей коррозионной стойкостью, чем чистый титан. Титан и его сплавы хорошо поддаются горячей и холодной обработке давлением, хорошо свариваются в инертной среде, но обладают низкими антифрикционными свойствами и, сравнительно со сталью, хуже обрабатываются резанием.

Сплавы титана широко применяются в авиационной и ракетной технике, в химической промышленности, цветной металлургии и других отраслях, где использование титановых сплавов определяется их ценными антикоррозионными свойствами. Так, титановые теплообменники, работающие в азотной кислоте, имеют скорость коррозии в 60 раз меньшую, чем аналогичные теплообменники из нержавеющей стали. Из титана изготавливают оборудование для хлорной промышленности, гребные винты и т. п.

АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

Коррозией металлов называют их самопроизвольное разрушение вследствие физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Ущерб, причиняемый коррозией, очень велик. Ежегодно около 30% всего выплавленного металла идет на восстановление потерь от коррозии. Примерно 10% выплавленного металла теряется безвозвратно, что составляет только для нашей страны свыше 1,5 млн. т. Сюда следует добавить стоимость изготовленных конструкций, разрушенных коррозией, которая, как правило, превышает стоимость самого металла и стоимость продукции, испорченной продуктами коррозии в пищевой и химической промышленности. В пищевой промышленности продукты коррозии могут представлять серьезную опасность для здоровья и жизни людей.

Снижение потерь и защита металла от коррозии могут осуществляться различными способами: легированием, путем обработки внешней среды, протекторной защитой и применением защитных покрытий. Легирование заключается в сплавлении металла с другими элементами, в результате чего получается сплав с повышенным сопротивлением коррозии. Уменьшение коррозионной активности среды достигается за счет введения в нее специальных присадок. При протекторной защите к защищаемой конструкции присоединяют протектор, представляющий собой кусок металла с более электроотрицательным потенциалом, чем металл конструкции. В агрессивной среде протектор, являющийся анодом, будет разрушаться, а защищаемое изделие, будучи катодом, останется целым.

Широкое применение нашли различные виды защитных покрытий, которые можно подразделить на три группы: 1) покрытия, получаемые химической и электрохимической обработкой поверхности; 2) металлические и 3) неметаллические покрытия.

1. ВИДЫ КОРРОЗИИ

Коррозионные процессы могут классифицироваться по механизму процесса, по условиям протекания коррозии и по характеру коррозионного разрушения.

По механизму процесса коррозия разделяется на химическую и электрохимическую. *Химическая коррозия* заключается в самопроизвольном разрушении металлов вследствие химического взаимодействия с сухими газами или жидкими неэлектролитами: нефтью, бензином, керосином, жидким бромом и др. При химическом взаимодействии металла образуются соединения FeO, FeS и др. Самым распространенным видом химической коррозии является газовая коррозия, т. е. коррозия металлов в газах при высокой температуре. Этому виду коррозии подвергаются детали машин и конструкций, работающие при повышенных температурах (двигатели внутреннего сгорания, газовые турбины и др.). *Электрохимическая коррозия* заключается в разрушении металлов жидкими электролитами. Распространенным видом электрохимической коррозии является ржавление деталей и конструкций во влажном воздухе, трубопроводов в земле и т. п. Электрохимическая коррозия определяется теми же процессами, что и работа гальванических элементов. При погружении металла в электролит положительно заряженные ионы металла будут переходить в раствор. В результате металл, потеряв часть положительных зарядов, становится заряженным отрицательно, а электролит — положительно и на границе металл — электролит возникает скачок потенциала. Непосредственно этот скачок потенциала не может быть измерен, но можно определить электродвижущую силу между отрицательно заряженным металлом (один электрод) и стандартным водородным электродом, потенциал которого условно принимается за нуль. Эту э. д. с. принято называть *электродным потенциалом* металла. Водородный электрод представляет собой пластинку платины, погруженную в раствор с заданной концентрацией ионов водорода при определенном давлении газообразного водорода. Металлы могут иметь электродный потенциал как более высокий, так и более низкий, чем у водородного электрода:

Металл	Au	Ag	Cu	H	
Электродный потенциал	+1,42	+0,80	+0,34	0	
Металл	Ni	Fe	Zn	Al	Mg
Электродный потенциал	-0,23	-0,44	-0,76	-1,66	-2,38

Если в контакте с электролитом находится только один металл, то при определенной концентрации ионов этого металла в электролите процесс растворения металла может прекратиться, т. е. он перестанет корродировать.

При погружении в электролит двух разнородных металлов, обладающих различными электродными потенциалами, в электролит будут переходить ионы металла с более низким электродным потенциалом. Если оба металла привести в контакт (при помощи проводника, например), то возникнет гальванический элемент, в котором избыточные электроны от металла с более низким электродным потенциалом (анода) будут перемещаться к металлу с более высоким электродным потенциалом (катоде). Цепь замкнется через электролит, где заряды будут передаваться ионами электролита. Таким образом, электрическое равновесие на аноде будет непрерывно нарушаться, и анод будет разрушаться, т. е. корродировать. Второй электрод (катод) разрушению не подвергается. На корродирующей поверхности металла имеются различные по своим свойствам участки, которые при соприкосновении с электролитом выполняют роли анодов или катодов. Большой частью поверхность металла представляет собой многоэлектродный гальванический элемент. В зависимости от размеров анодных или катодных участков они образуют макрогальванические или микрогальванические элементы. Причины образования электрохимической неоднородности могут быть самые различные: макро- и микровключения в сплаве, наличие границ зерен, поры в окисной пленке, неравномерная деформация и др. По условиям протекания коррозия разделяется на следующие виды: 1) газовая коррозия; 2) коррозия в неэлектролитах (например, стали в бензине); 3) атмосферная коррозия; 4) коррозия в электролитах (подразделяется в зависимости от характера коррозионной среды на кислотную, щелочную, солевую и т. п.); 5) грунтовая коррозия (например, ржавление трубопроводов); 6) структурная коррозия, обуславливается различными включениями в металле; 7) электрокоррозия (возникает под действием блуждающих токов); 8) контактная коррозия, возникает при контакте в электролите металлов с разными электродными потенциалами; 9) щелевая коррозия (возникает в узких щелях, например в резьбовых соединениях);

10) коррозия под напряжением (возникает при одновременном действии среды и напряжений).

По характеру коррозионного разрушения коррозия разделяется на сплошную или общую и местную коррозию.

Общая коррозия может быть равномерной, неравномерной и избирательной. Избирательная коррозия может

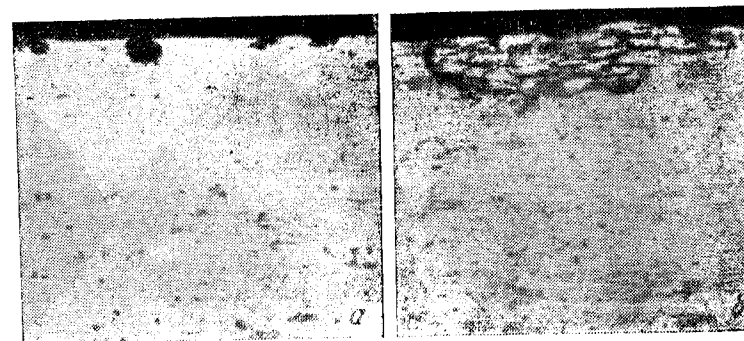


Рис. 62. Микроструктура металла при язвенной (а) и интеркристаллитной (б) коррозии

возникнуть в сплавах при преимущественном разрушении одного из компонентов или одной из структурных составляющих.

Местная коррозия может быть в виде коррозии пятнами, язвенной коррозии, точечной, подповерхностной и межкристаллитной (интеркристаллитной). На рис. 62, а и б показаны микроструктуры металла при язвенной и интеркристаллитной коррозии. Интеркристаллитная коррозия является одним из опаснейших видов коррозии, поскольку снижает механические свойства металла без изменения внешнего вида поверхности металла, что препятствует своевременному предупреждению опасных последствий коррозии.

Для оценки коррозионных процессов наиболее широко применяется глубинный показатель коррозии и показатель изменения массы. Глубинный показатель коррозии — это глубина коррозионного разрушения за определенное время, например мм/год. Показатель изменения

массы — это изменение массы образца металла при коррозии, отнесенное к единице поверхности и времени, например $г/(м^2 \cdot ч)$.

2. ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ХИМИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

Химической или электрохимической обработкой можно превратить поверхностный слой металла в определенное химическое соединение, образующее сплошную защитную пленку на поверхности изделия. Такие пленки пористы и часто применяются в качестве подслоя для лакокрасочных покрытий или пропитываются смазкой. Наиболее часто в качестве защитных применяются окисные и фосфатные пленки.

При *оксидировании* (воронении) черных металлов на поверхности образуется пленка магнитной окиси железа Fe_3O_4 , придающая покрытию черный цвет. Оксидные пленки обладают повышенной пористостью и поэтому их защитные свойства невелики. Для повышения коррозионной стойкости оксидированные детали пропитывают маслом. Применяются оксидные покрытия для деталей, работающих в сухом воздухе.

Оксидирование применяется также для защиты алюминия и его сплавов. Наиболее широко применяется электрохимическое оксидирование (анодирование) алюминия и его сплавов в растворах серной, щавелевой или хромовой кислот. При анодировании в щелевой кислоте получают окрашенные пленки: серебристого цвета, желтого (под латунь) и коричневого (под бронзу). Анодирование алюминия в специальных электролитах, содержащих соли титана, циркония и тория, называют эматалированием. При эматалировании получают твердые непрозрачные пленки с высокой стойкостью в органических растворителях, минеральных и животных маслах и в пищевых продуктах и папитках.

Фосфатирование применяют для защиты стали от атмосферной коррозии. При фосфатировании на поверхности металла создаются пленки нерастворимых фосфатов, которые после покрытия лаками, красками или пропитки маслом надежно защищают изделие от коррозии. Фосфатные пленки применяются в качестве грунта при

нанесении лакокрасочных покрытий, так как повышенная пористость фосфатированного слоя обеспечивает хорошее сцепление с лакокрасочным слоем.

3. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Металлические покрытия наносят главным образом на металлы, но их применяют также и для неметаллических материалов: стекла, пластмассы, керамики, бумаги

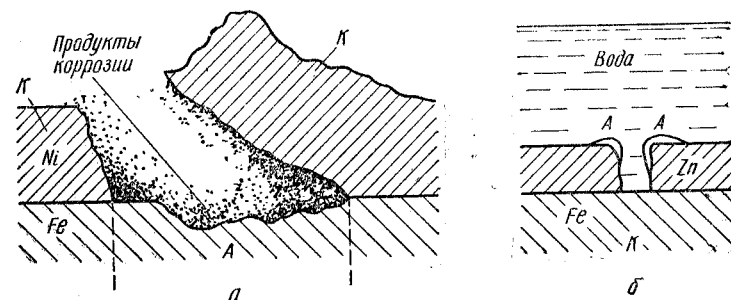


Рис. 63. Схема коррозии железа с пористым покрытием:
а — катодное покрытие; б — анодное покрытие

и др. Кроме защиты от коррозии, покрытия наносятся также для декоративной отделки, восстановления размеров изношенных деталей, повышения износостойкости, придания антифрикционных свойств и т. п. По защитному действию покрытия разделяются на *катодные и анодные*. Катодные покрытия имеют более положительный электродный потенциал, чем защищаемый металл, и поэтому при наличии пор или повреждений в покрытии будет корродировать основной металл (рис. 63, а). Таковы покрытия из меди, никеля, хрома, свинца на углеродистой или низколегированной стали. Электродный потенциал анодных покрытий отрицательнее, чем у защищаемого металла, и поэтому при нарушении его сплошности анодное покрытие играет протекторную роль, разрушаясь само и тем самым защищая металл от разрушения (рис. 63, б). Покрытия из цинка или кадмия на углеродистой стали являются анодными.

Основными методами нанесения металлических покрытий являются: 1) погружение в расплавленный ме-

талл (горячие покрытия); 2) термодиффузионный (диффузионная металлизация); 3) напыление (металлизация); 4) механотермический (плакирование); 5) гальванический.

Горячие покрытия наносятся на изделия или заготовки погружением их в расплавленный металл на короткое время. Этот метод применяется для нанесения покрытий из легкоплавких металлов (цинка, олова, свинца, алюминия). Покрытие цинком (цинкование) производят для защиты от атмосферной коррозии, коррозии в воде и в растворах нейтральных солей. Лужение (покрытие оловом) производят для получения белой жести и защиты медных проводов от воздействия серы.

Металлизация заключается в нанесении расплавленного металла на поверхность изделия. Аппараты для напыления (металлизаторы) бывают газовые и электродуговые. Металл, поступающий в металлизатор в виде проволоки или порошка, расплавляется в зависимости от типа металлизатора в газовом пламени или в электрической дуге и распыляется сжатым воздухом или газом. Этим способом можно наносить покрытия на крупногабаритные детали и готовые конструкции, а также на неметаллические материалы (стекло, дерево, цемент и др.).

Плакированием получают биметаллические листы, ленты и проволоку. Для получения листового биметалла заготовка основного металла совместно с тонкими листами защитного металла подвергается горячей прокатке, при которой в результате диффузионного взаимодействия основного и защитного металлов создается их прочное соединение. При изготовлении биметаллической проволоки заготовка основного металла заливается расплавленным защитным металлом и после кристаллизации подвергается прокатке и волочению. Прокатка металлического листа совместно с нанесенным на него слоем полимера можно получить металлопласт, значительно более дешевый, чем нержавеющей сталь.

Гальванический способ нанесения покрытий является самым распространенным в машиностроении благодаря целому ряду преимуществ: экономичности, легкой управляемости процессом, чистоте и равномерности покрытий, хорошему сцеплению покрытия с основным металлом, отсутствию нагрева, а следовательно, и структурных изменений в металле и коробления. При нанесении галь-

ванических покрытий детали погружают в ванну с раствором электролита, содержащего ионы осаждаемого металла. Катодом служит деталь, которую подключают к отрицательному полюсу источника постоянного тока. Аноды могут быть растворимые и нерастворимые. Растворимые аноды — пластины из наносимого металла, нерастворимые — графитные или из нерастворяющегося металла. Вследствие избытка электронов на катоде на нем происходит разряд положительно заряженных ионов защищаемого металла, находящегося в растворе и их осаждение на защищаемый металл. Гальваническим методом на сталь наносят Zn, Cd, Sn, Pb, Cu, Ni, Cr и другие металлы, а также и сплавы: Cu+Zn, Pb+Sn, Ni+Co. Покрытия цинком имеют серый цвет. Они хорошо защищают от атмосферной коррозии, так как являются анодными, и при повреждении покрытия действуют как протектор. Покрытия хромом отличаются серебристо-голубоватым цветом и широко применяются как защитно-декоративные. Вследствие высокой твердости хромовых покрытий (HV 1000—1100) их применяют также для повышения износостойкости деталей машин. Оловянные покрытия имеют серебристо-белый цвет и отличаются пластичностью и малой твердостью. Оловянные покрытия применяют в основном для получения белой жести для консервных банок.

4. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Неметаллические покрытия разделяются на покрытия органического и неорганического происхождения. К органическим покрытиям относятся лаки, краски, эмали, смолы, пленочные полимерные материалы, резина. К неорганическим — цементные и бетонные покрытия, стеклоэмали, керамические материалы.

Наиболее широко для защиты от коррозии применяются *лакокрасочные покрытия*. Около 60% всей защищаемой от коррозии поверхности подвергается защитной окраске. Лакокрасочные покрытия также применяют совместно с оксидными, фосфатными и гальваническими покрытиями.

Лаки представляют собой чистые пленкообразующие вещества (масла, смолы, эфиры целлюлозы, каучук), растворенные в органических растворителях. После сушки

изделия и испарения растворителя на поверхности образуется тонкая, эластичная, блестящая пленка. При добавлении в лаки пигментов получают эмалевые краски. В качестве пигментов применяют охру, сурик железный, белила свинцовые, цинковые, ультрамарин, окись хрома и другие вещества. Пигменты нерастворимы ни в пленкообразователях, ни в органических растворителях и находятся в эмалях в тонкодисперсном состоянии. Кроме эмалевых, существуют следующие виды красок: клеевые, гуашевые (на основе декстрина), масляные (на олифе), силикатные (на жидком стекле).

Свойства лакокрасочных покрытий зависят в основном от пленкообразователя, поэтому лакокрасочные покрытия различают по типу пленкообразователя.

Наиболее широко из синтетических лакокрасочных материалов распространены эфирцеллюлозные и алкидные материалы. К эфирцеллюлозным материалом относятся нитролаки и нитроэмали. Они отличаются бензо- и маслостойкостью, эластичностью и быстро высыхают при комнатных температурах. К алкидным относятся глифталевые и пентафталевые лакокрасочные материалы, применяемые для окраски автомобилей и всевозможных аппаратов и приборов.

Покрытие смолами, в том числе и синтетическими, производится кистью, окупанием или распылением. Пленки из капрона и нейлона обладают хорошим сцеплением с металлом, прочностью, химической стойкостью и высокими электроизоляционными свойствами. Для нанесения покрытий применяют также фторопласты, полиэтилен, эпоксидные смолы и т. п. Для защитной футеровки могут применяться и готовые пленки, которые крепятся к изделиям клеем или же привариваются.

Покрытие резиной (гуммирование) осуществляют облицовкой листами резиновой смеси с последующей вулканизацией, напылением, а также нанесением жидких каучуковых композиций (латекса и лаков на основе каучука). Резиновые покрытия эластичны, стойки к истиранию, обладают хорошей химической стойкостью, водо- и газонепроницаемы.

Покрытия стеклоэмалью получают нанесением расплавленных стекол специального состава, образующих после остывания фарфоровидный слой. Эти покрытия устойчивы в органических и минеральных кислотах и в

слабых растворах щелочей; отличаются высокой твердостью, прочностью на истирание и хрупкостью.

Керамические покрытия (футеровка) выполняют из диабазовых, керамиковых, метлахских и других плиток, цементируя их кислотоупорными замазками. Применяют эти покрытия для защиты от действия высоких температур (выше 1200° С). Керамические и металлокерамические покрытия наносят также напылением; наиболее часто применяют напыленные окиси алюминия и двуокиси циркония.

III РАЗДЕЛ ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Общие сведения

Литейное производство — отрасль машиностроения, производящая фасонное и заготовительное литье из различных металлов и сплавов.

Фасонным литьем получают отливки, близкие по форме и размерам к готовым деталям. Заготовительное литье — это слитки, предназначенные для дальнейшей обработки давлением (прокатка, ковка, штамповка и пр.) или механической обработки на металлорежущих станках.

Литье является важным и экономически выгодным способом производства. Во многих случаях литье — единственный способ изготовления нужных деталей. Особенно это проявляется в тех случаях, когда требуется изготовить детали больших размеров и массы, а также сложной конфигурации. Кроме того, малопластичные сплавы, например такие, как чугун, которые не поддаются обработке давлением (ковке, штамповке и др.), с успехом используют для производства фасонных отливок. В машиностроении более 50% (по массе) в выпускаемых машинах составляют литые детали.

Литьем изготавливают маховики, блоки цилиндров, картеры, коленчатые и кулачковые валы, станины станков, прессы и молоты, поршни и многие другие детали. Масса отливок колеблется в пределах от нескольких граммов до нескольких сот тонн.

Технология производства отливок складывается из следующих основных процессов: изготовление модели будущей отливки, изготовление формы, приготовление жидкого металла, заливка металла в формы, выбивка отливок из форм, обрубка и очистка отливок, контроль отливок.

Существуют следующие способы фасонного литья: в песчаные формы, в оболочковые формы, по выплавляемым моделям (литье в разовые формы), в кокиль, на машинах под давлением, центробежное (литье в постоянные формы) и др. Все способы фасонного литья, кроме

литья в песчаные формы, называются специальными способами литья. Наиболее широкое применение имеет литье в песчаные формы. Однако чистота поверхности и точность этих отливок в большинстве случаев не удовлетворяет требованиям современного машиностроения. Поэтому с каждым годом получают все большее применение специальные способы литья, позволяющие получать отливки повышенной точности, с минимальным объемом механической обработки и с чистой гладкой поверхностью, не требующей дальнейшей обработки.

В литейном производстве применяется очень много различных сплавов на основе железа (сталь и чугун), алюминия, магния, меди, цинка, кобальта, никеля, титана и других металлов. Наиболее широко используются чугун и сталь. Сплавы, применяемые в литейном производстве, отличаются по составу, температуре плавления, вязкости в жидком состоянии, химической активности, прочности и пластичности в твердом состоянии и по многим другим свойствам.

А. Изготовление отливок в песчано-глинистых формах

Литьем в песчано-глинистые формы изготавливают около 80% общего количества отливок.

Песчано-глинистые формы называют разовыми. Это значит, что их используют только один раз; после заливки в них металла и его охлаждения формы для извлечения отливки разрушают (выбивают отливки). Песчано-глинистые формы изготавливают из формовочных смесей в опоках при помощи моделей и другой модельно-опочной оснастки.

Глава I

МОДЕЛЬНО-ОПОЧНАЯ ОСНАСТКА

В комплект модельно-опочной оснастки входят модели, подмодельные, подопочные и сушильные плиты, стержневые ящики, опоки, приспособления для контроля форм и стержней и др.

1. МОДЕЛИ И СТЕРЖНЕВЫЕ ЯЩИКИ

Модели служат для образования внешних контуров отливки в форме. В серийном и массовом производствах применяют в основном металлические модели, а в индивидуальном и мелкосерийном — деревянные (из сосны, ольхи, бука, липы и др.). По конструкции модели могут

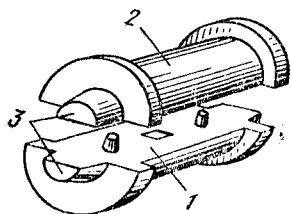


Рис. 64. Разъемная модель:

1 — верхняя половина (с шипами);
2 — нижняя половина; 3 — стержневой знак

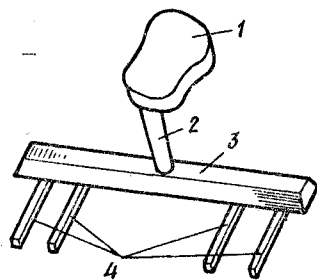


Рис. 65. Литниковая система

быть цельные и разъемные, а также с отъемными частями.

Модели изготовляют с учетом припусков на механическую обработку и литейную усадку металла; это значит, что они имеют большие размеры, чем отливка или готовая деталь.

Припуски на механическую обработку принимаются по ГОСТу.

Для лучшего извлечения модели из песчаной формы ее боковые стенки имеют формовочные уклоны: металлические 0,5—1°, деревянные 1—2°. На рис. 64 показана разъемная модель. Разъемные модели обычно состоят из двух частей — верхней и нижней. Нижняя половина модели имеет по плоскости разъема отверстия, а верхняя — конусообразные выступы (шипы). При накладывании верхней половины модели на нижнюю шипы входят в отверстия и происходит точное центрирование частей модели.

В зависимости от применяемых сплавов для литья все размеры модели делают больше, чем у отливки на величину литейной усадки (линейную и объемную). Под литейной линейной усадкой понимается относительная

разница в размерах модели и изготовленной по ней отливки, выраженная в процентах:

$$\varepsilon_{л} = \frac{l_{м} - l_{0}}{l_{м}} \cdot 100,$$

где $\varepsilon_{л}$ — линейная усадка, %;
 $l_{м}$ — длина модели;
 l_{0} — длина отливки.

Примерная литейная (линейная) свободная усадка для разных сплавов, %:

Серый чугун	1,0—1,3
Сталь углеродистая	2,0—2,5
Бронзы оловянистые	1,4—1,6
Бронзы безоловянистые	2,3—2,5
Латуни	1,3—1,8
Высокремнистые алюминиевые сплавы	0,9—1,2
Цинковые сплавы	0,9—1,2
Магниеые сплавы	1,0—1,6
Титан и его сплавы	1,5—2,3

Кроме основных моделей, образующих форму отливки, имеются модели литниковых систем, с помощью которых при формовке образуется система каналов, через которые поступает в полость формы жидкий металл. Обычно литниковая система (рис. 65) состоит из следующих основных элементов: литниковая чаша (воронка) 1; стояк 2; шлакоуловитель 3; питатель 4. Все модели должны иметь гладкую окрашенную поверхность.

Согласно ГОСТу, для различных видов литья установлены следующие отличительные цвета окраски моделей: для чугунового — красный, для стального — синий; для цинкового — желтый.

Стержневые знаки во всех случаях окрашивают в черный цвет. Стержневые знаки у моделей служат для образования опорных поверхностей в форме, на которые устанавливаются стержни. Уклоны стержневых знаков принимаются равными: верхние 5—10°, нижние 3—7°.

В конструкции моделей должны быть предусмотрены плавные переходы от утолщений к тонким местам, а во внутренних углах — радиусы закругления; по ГОСТу принимают допуски на отклонения от номинальных размеров в зависимости от класса точности.

Стержневые ящики служат для изготовления песчаных стержней. В индивидуальном и мелкосерийном про-

изготовлении применяют деревянные стержневые ящики, а в серийном и массовом — металлические (из алюминиевых сплавов) (рис. 66). В зависимости от размеров и формы стержней ящики могут быть цельные, разъемные и с отъемными частями. Как и модели, их изготавливают с учетом литейной усадки и припусков на механическую обработку. Их рабочая поверхность должна быть гладкой и окрашенной.

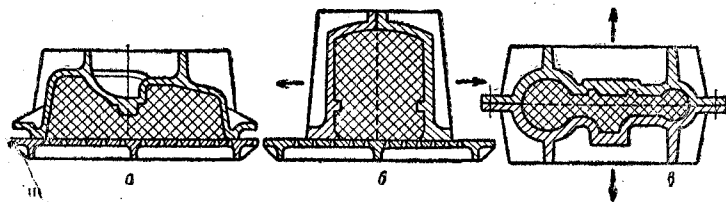


Рис. 66. Металлические стержневые ящики:

а — с вертикальным разъемом; б — с вертикальным разъемом; в — с горизонтальным разъемом

Модели и стержневые ящики изготавливают следующим образом:

а) в соответствии с чертежом отливки намечаются способ формовки и линии разреза модели и стержневых ящиков; в зависимости от количества подлежащих изготовлению отливок выбирают материал модели и стержневых ящиков;

б) на специальной щитке выполняют чертеж модели и стержней с учетом литейной усадки сплава, из которого будут изготавливать отливки, и припусков на механическую обработку; указывают стержневые знаки, галтели и формовочные уклоны;

в) по чертежу щитка подбирают заготовки и производят их обработку;

г) если материалом является дерево, то части модели и стержневых ящиков склеивают и производят окончательную обработку и зачистку рабочих поверхностей; затем проверяют размеры, шпаклюют, грунтуют и окрашивают. Склейку производят козеиновым или другим клеем, а окраску — водонепроницаемым модельным лаком.

При изготовлении моделей и стержневых ящиков пользуются специальной усадочной линейкой (метром).

Для изготовления деревянных моделей и стержневых ящиков применяют ленточные и циркулярные пилы, фуговочные и рейсмусовые (строгальные) станки, токарные, фрезерные, шлифовальные станки и т. д.

Металлические модели обычно отливают при помощи деревянных моделей (промоделей), которые изготавливают с учетом суммарной усадки металла отливки и металла модели и суммарного припуска на механическую обработку. Готовые металлические модели отливок и модели литниковой системы жестко монтируются на гладкой металлической модельной плите.

Металлические стержневые ящики изготавливают главным образом цельнолитыми с последующей незначительной механической обработкой. Металлические модели и стержневые ящики изготавливают с большой точностью размеров, для чего пользуются различными металлорежущими и специальными копировальными станками.

2. ПОДМОДЕЛЬНЫЕ ПЛИТЫ, ОПОКИ И ДРУГАЯ ОСНАСТКА

Подмодельные плиты, деревянные или металлические (рис. 67), служат для установки на них моделей и опок при формовке.

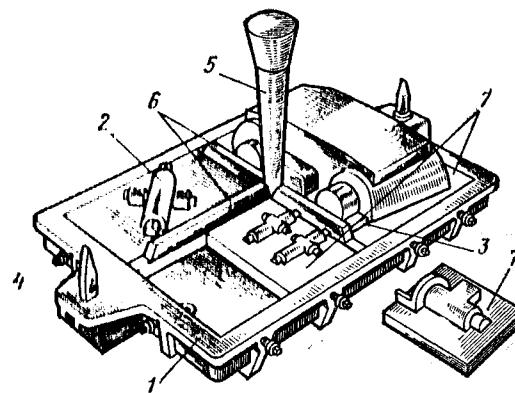


Рис. 67. Многопозиционная модельная плита:

1 — плита-рабка; 2 — модель отливки; 3 — модель питателя; 4 — штырь; 5 — модель стойка; 6 — модель шлакоуловителя; 7 — вкладыш

Опоки (рис. 68) — обычно стальные, чугунные или из алюминиевых сплавов — служат для удержания формовочной смеси и образования литейной песчаной формы. Центрирование верхней опоки с нижней осуществляется фиксирующими штырями, которые вставляют в отверстия в приливах опок, а скрепление — скобами.

Подопочные плиты предназначаются для установки на них опок, а также готовых форм под заливку.

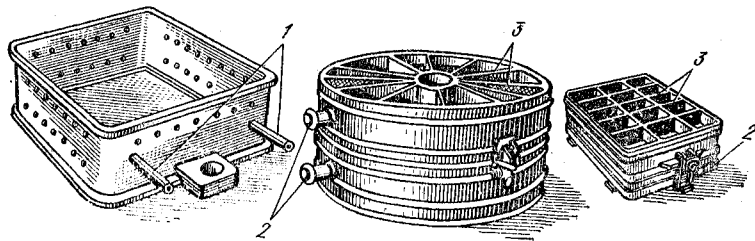


Рис. 68. Прямоугольные и круглые опоки:
1 — ручки; 2 — цапфы; 3 — ребра жесткости

Сушильные плиты служат для сушки стержней и форм. Они имеют отверстия, обеспечивающие хорошую циркуляцию воздуха и равномерную просушку стержней.

Глава II

ФОРМОВОЧНЫЕ И СТЕРЖНЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СМЕСИ

Формовочные смеси применяют для изготовления песчаных форм, а стержневые — для изготовления стержней, устанавливаемых в указанные формы.

1. ИСХОДНЫЕ ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Исходными материалами для изготовления формовочных смесей служат формовочные пески и глины. Формовочные пески добывают в песчаных карьерах и классифицируют по ГОСТу. В зависимости от содержания

глинистых составляющих кварцевые пески делятся на несколько классов: кварцевые К (до 2% глины), тощие Т (2—10% глины), полужирные П (10—20% глины), жирные Ж (20—30% глины) и очень жирные ОЖ (30—50% глины). Другим классификационным признаком песков по тому же ГОСТу является его зерновой состав, который определяется методом ситового анализа.

Пески подразделяют по величине зерен: грубый (1,0—0,4 мм), очень крупный (0,63—0,315 мм), крупный (0,4—0,2 мм), средний (0,315—0,16 мм), мелкий (0,2—0,1 мм), очень мелкий (0,16—0,063 мм), тонкий (0,1—0,05 мм), пылевидный (0,063—0,05 мм). Для связывания зерен песка в формовочные смеси добавляют глины, каолиновые (обозначаются буквой К) или монтмориллонитовые (обозначаются буквой М).

Монтмориллонитовые (бентонитные) глины обладают высокой связующей способностью во влажном состоянии.

В связи с тем что песчано-глинистые формовочные и стержневые смеси обладают рядом недостатков (плохой податливостью и газопроницаемостью и пр.), в них взамен глины вводят связующие вещества (сульфидно-спиртовую барду, различные смолы, пеки, битумы, жидкое стекло и др.).

Оптимальное количество вводимого в смесь связующего определяется по ГОСТу или по ТУ.

Из неорганических связующих применяют жидкое стекло (водный раствор силиката натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot m \cdot \text{SiO}_2$, где m колеблется от 2 до 3). Главной характеристикой жидкого стекла является модуль, представляющий собой отношение числа грамм молекул двуоксида кремния к числу грамм молекул окиси натрия

$$M = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}} \cdot 1,032.$$

Чем больше модуль, тем выше прочность смесей во влажном состоянии и ниже в сухом состоянии.

Кроме связующих материалов, обеспечивающих необходимую прочность, в формовочные и стержневые смеси вводят различные добавки, придающие смесям необходимые свойства. Эти добавки рассматриваются в гл. 10, 11 и 12.

Песок применяется предварительно высушенный и просеянный. Глину и твердые добавки сушат, дробят и просеивают. Для сушки песка применяют печи барабанного типа и высокопроизводительные аппараты кипящего слоя (рис. 69).

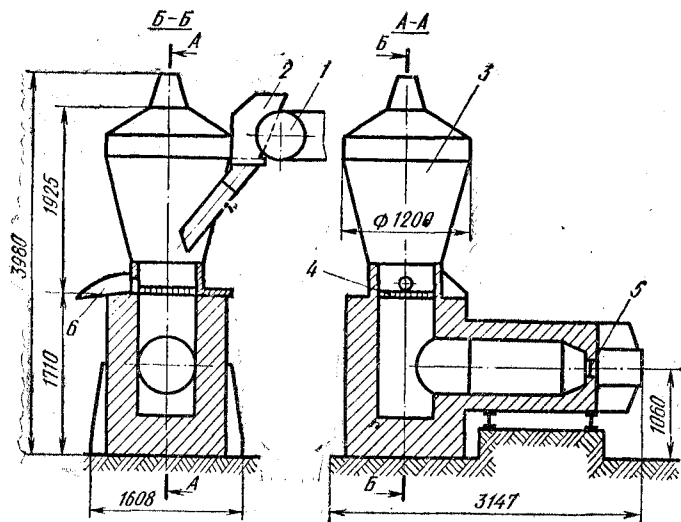


Рис. 69. Аппарат кипящего слоя:

1 — транспортер для сырого песка; 2 — приемная воронка с рукавом; 3 — конический резервуар; 4 — решетка; 5 — тонка; 6 — рукав для сухого песка

2. ФОРМОВОЧНЫЕ СМЕСИ, ИХ ПРИГОТОВЛЕНИЕ И СВОЙСТВА

Формовочные смеси служат для изготовления песчаных форм и применяются трех типов: единые, облицовочные и наполнительные. Единые смеси используют в массовом производстве, а облицовочные и наполнительные — в индивидуальном производстве. При этом сначала на поверхность модели наносят облицовочную смесь, а затем наполнительной смесью заполняют остальную часть формы.

Выбор состава формовочной смеси зависит главным образом от сплава, из которого будут изготавливать от-

ливки, а также от того, какие формы применяются: сухие или сырые. Наибольшее применение получили сырые формы, так как это экономичнее более выгодно. Сухие формы используют для изготовления крупных или сложных по форме отливок.

Для получения качественных отливок в сырых формах необходимо знать зависимость свойств формовочной смеси от ее состава. Так, например, чем больше в смеси глины, тем газопроницаемость ниже, но выше прочность; повышенная влажность (более 6%) увеличи-

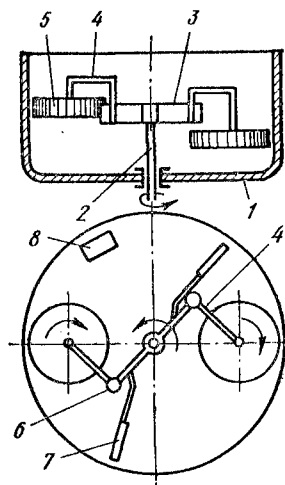


Рис. 70. Смешивающие бегуны с горизонтальными катками:

1 — чаша; 2 — вертикальный вал; 3 — траверса; 4 — маятники; 5 — катки; 6 — шарниры; 7 — плужки; 8 — люк для удаления смеси

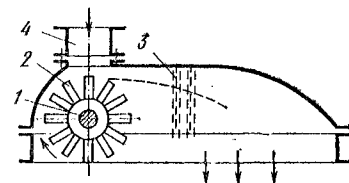


Рис. 71. Схема устройства аэратора:

1 — вращающийся вал; 2 — лопатки, укрепленные на валу и отбрасывающие формовочную смесь; 3 — решетка; 4 — загрузочная воронка для формовочной смеси

вает пластичность и прочность смеси, но снижает ее газопроницаемость и увеличивает газотворность смеси.

Технологический процесс приготовления формовочных смесей заключается в перемешивании составляющих компонентов смеси с последующим ее выстаиванием и разрыхлением. Перемешивание производится в смешивающих бегунах (рис. 70). Время перемешивания составляет для основной смеси 3—5 мин, для наполнительной смеси около 3 мин и для облицовочной смеси 6—10 мин. Затем формовочные смеси загружают в бункера, где выстаиваются в течение нескольких часов для равномерного распределения влаги. Перед подачей в формовочное отделение смесь разрыхляют аэраторами (рис. 71)

или передвижными ленточными разрыхлителями. Подготовка исходных материалов и приготовление формовочных смесей производится в землеприготовительном отделении.

Приготовленные формовочные смеси должны обладать следующими основными свойствами: достаточной прочностью, противостоять разрушающим усилиям во время изготовления и транспортировки форм, а также давлению жидкого металла при заливке, хорошей газопроницаемостью (пропускать газы после заливки металла в форму); низкой газотворностью (не выделять газы при высоких температурах), пластичностью (хорошо формоваться и давать четкий отпечаток от модели), податливостью (не препятствовать усадке металла при затвердевании отливки), огнеупорностью (не размягчаться и не расплавляться под действием высокой температуры жидкого металла, заливаемого в форму), долговечностью (сохранять свои качества при повторных употреблениях), выбиваемостью (легко разрушаться и выбиваться из опок).

Горелая, отработанная смесь, выбитая из опок перед повторным использованием, подвергается переработке, которая состоит из охлаждения, отделения металлических включений (брызг металла, каркасов стержней, кусков холодильников), размельчения и просеивания. Для удаления металлических частиц применяют магнитный сепаратор, а для просеивания — сита барабанного типа. Для размятия твердых комьев смеси, образующихся после выбивки сухих форм, применяются гладкие валки.

Затем, для придания формовочной смеси указанных выше свойств, в нее вводят необходимое количество свежих материалов (песок, глину и пр.) и воды, после чего смесь тщательно перемешивается в смешивающих бегунах.

Примерный состав формовочной смеси для чугунолитья: 8—10% глины, 0,5—1% каменного угля, 4—6% воды, остальное кварцевый песок. Свойства такой смеси следующие: газопроницаемость 80—100 см/мин, предел прочности при сжатии сырых образцов 0,4—0,6 кгс/см².

В настоящее время процесс переработки и приготовления формовочных смесей в литейных цехах серийного и массового производства автоматизирован.

3. СТЕРЖНЕВЫЕ СМЕСИ, ИХ ПРИГОТОВЛЕНИЕ И СВОЙСТВА

Стержневые смеси служат для изготовления песчаных стержней. Состав и свойства стержневых смесей зависят от их назначения.

Примерный состав стержневой смеси для изготовления несложных по форме стержней: кварцевый песок 90—92%, глина 4—6%, сульфитная барда (плотностью 1,27 г/см³) 2—3%, вода 3—4%. Свойства такой смеси следующие: газопроницаемость не менее 70 см/мин, предел прочности при сжатии в сыром состоянии 0,15—0,25 кгс/см², предел прочности при растяжении в сухом состоянии 4—5 кгс/см².

Процесс приготовления стержневых смесей заключается в перемешивании составляющих компонентов смеси в смешивающих бегунах в течение 10—12 мин и последующем выстаивании ее в бункерах. Приготовление смесей производится в землеприготовительном отделении. Отсюда готовая смесь транспортируется в отделение изготовления стержней.

4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ФОРМОВОЧНЫЕ И СТЕРЖНЕВЫЕ СМЕСИ

Кроме песчано-глинистых смесей, в литейном производстве применяют специальные смеси. В них кварцевые пески заменены высокотеплопроводными материалами. Например, для изготовления облицовочных смесей при литье крупных и сложных стальных отливок применяют хромит и хромомagneзит. Формовочные и стержневые смеси с жидким стеклом (самотвердеющие) широко используют для отливок из стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов. Эти смеси имеют следующий состав: 95—97% песок кварцевый; 3—5% глина; 5—7% жидкое стекло. Влажность смесей 3—4,5%. Такие смеси обеспечивают получение стальных отливок без пригара. Процесс отверждения смесей с жидким стеклом можно производить тремя способами: 1) сушкой; 2) продувкой CO₂; 3) выдержкой на воздухе при комнатной температуре. Предел прочности смесей составляет, кгс/см²: в сыром состоянии 0,15—0,30; после сушки — до 20, после продувки CO₂ — 3—5. К недостаткам этих смесей относятся

трудная выбиваемость и большая гигроскопичность. Краски стараются наносить на горячие стержни и формы сразу после сушки.

В последние годы получили широкое применение краски на основе циркона, обладающего высокой огнеупорностью (плавится около 2000°C), теплоаккумулирующей способностью, не взаимодействующего с окислами металла, что позволяет получать стальные отливки с чистой поверхностью. Кроме указанных смесей, в ЦНИИТмаше разработаны новые жидкие самотвердеющие смеси, которые позволяют устранить трудоемкую операцию уплотнения, заменив ее заполнением стержневых ящиков и опок жидкой смесью. Залитая в формы смесь затвердевает через 45—60 мин и после нахождения на воздухе в течение 1,5—2 ч приобретает прочность 2—4 кгс/см². Благодаря высокой пористости эти смеси обладают хорошей газопроницаемостью 300—450 см/мин, а их недостатком является повышенный пригар к отливкам.

5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К вспомогательным материалам относятся различные припылы и краски, устраняющие пригар и позволяющие получать отливки с чистой поверхностью. Припылы рабочей поверхности применяют при заливке форм в сыром состоянии, а краски наносят на сухие стержни и формы. Припылом для форм стальных отливок служит пылевидный кварц, а для форм крупных чугунных толстостенных отливок — серебристый графит. В состав противопригарных красок входят огнеупорные материалы, связующие и специальные добавки, уменьшающие расслоение красок.

Глава III

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕСЧАНЫХ СТЕРЖНЕЙ

1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ

Стержни применяют в сухом состоянии и предназначены для образования в отливках отверстий и полостей. Изготавливают стержни в стержневых ящиках вручную или на стержневых машинах (при серийном и массовом производствах).

Стержневые машины применяют нескольких типов: пескострельные, пескодувные, встряхивающие, прессовые и др. Они отличаются между собой главным образом различными методами уплотнения стержневой смеси в ящиках.

На рис. 72 показана схема работы пескодувной машины. Машина имеет пескодувный резервуар 3, периодически заполняемый смесью из бункера 9. Вибратор 10

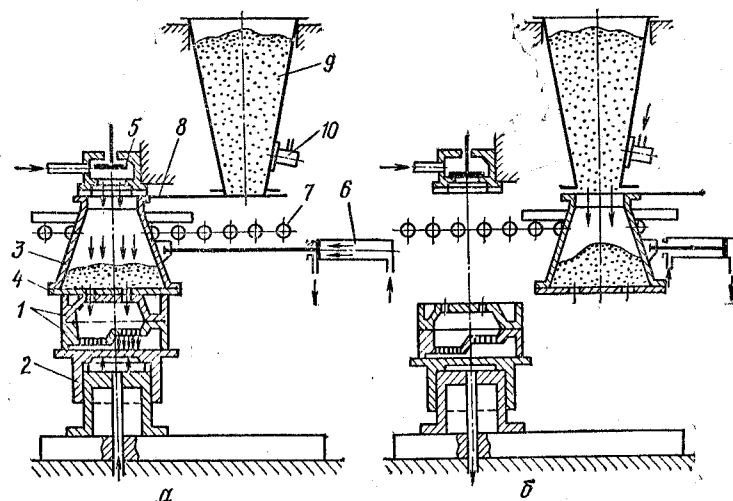


Рис. 72. Схема работы пескодувной машины:

а — момент надува смеси в стержневой ящик; б — заполнение пескодувного резервуара смесью

предназначен для устранения зависания смеси в бункере. После заполнения резервуар 3 перемещается цилиндром 6 по ролигангу 7 на рабочую позицию. При этом отверстие в бункере 9 перекрывается шиберным затвором 8. Стержневой ящик 1 прижимается к вдвунной плите 4. После этого сжатый воздух через распределитель 5 поступает в пескодувный резервуар 3 и через вдвунные отверстия выносит смесь в полость стержневого ящика и уплотняет ее. В стержневом ящике, установленном на столе 2, имеются отверстия (венты), закрытые сеткой и предназначенные для выхода воздуха из полости ящика. Воздух, стремясь выйти через венты, приобретает

высокую скорость, что способствует уплотнению смеси в ящике.

Наиболее современными, получившими широкое распространение, являются пескострельные машины (рис. 73), отличающиеся от других очень высокой производительностью. В этих машинах смесь уплотняется мгновенным перемещением ее под давлением воздуха из пескострельного резервуара через вдвунное отверстие в стержневой ящик. Смесь подается из бункера 1 в резервуар 3, после открытия задвижки 2. Сжатый воздух из резервуара 4 через быстродействующий клапан 5 большого сечения поступает в рабочий резервуар 3 и выбрасывает смесь через вдвунное отверстие 9 в полость стержневого ящика 7. Сопло с вдвунным отверстием 9 обязательно должно быть конической формы, чтобы воздух не прорвался в стержневой ящик и не ухудшил качество уплотнения смеси. Отверстия 8 во вдвунной плите 6 служат для удаления воздуха, вытесняемого смесью из стержневого ящика. В стержневом ящике венты, как правило, отсутствуют, что упрощает его конструкцию и снижает стоимость.

На рис. 74 показана быстросменная оснастка, применяемая при изготовлении стержней на машинах. Технологический процесс изготовления стержней в ящике, состоящем из двух половин, включает следующие операции:

- 1) очистка (обдувка) рабочей полости ящика и протирка (опрыскивание) керосином;
- 2) сборка стержневого ящика и скрепление его половин;
- 3) наполнение ящика стержневой смесью и уплотнение ее;
- 4) раскрытие ящика и укладка стержня на драйер (сушильную плиту).

Стержни в сыром состоянии имеют низкие механические свойства. Они приобретают прочность в процессе сушки за счет вводимых в смесь крепителей.

2. СУШКА СТЕРЖНЕЙ И ОТДЕЛКА

Сушка стержней производится в сушилах при температуре 150—240° С в течение 2—3 ч. Температура и время сушки зависят от применяемых крепителей, а также

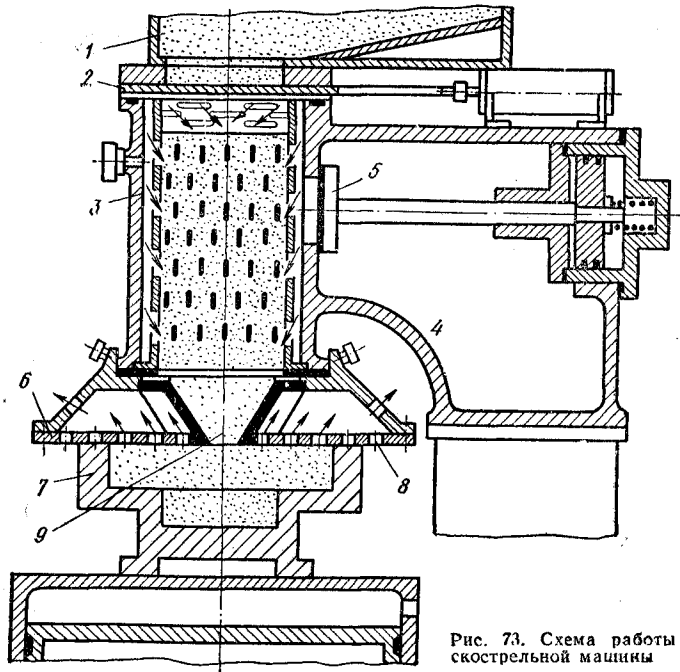


Рис. 73. Схема работы пескострельной машины

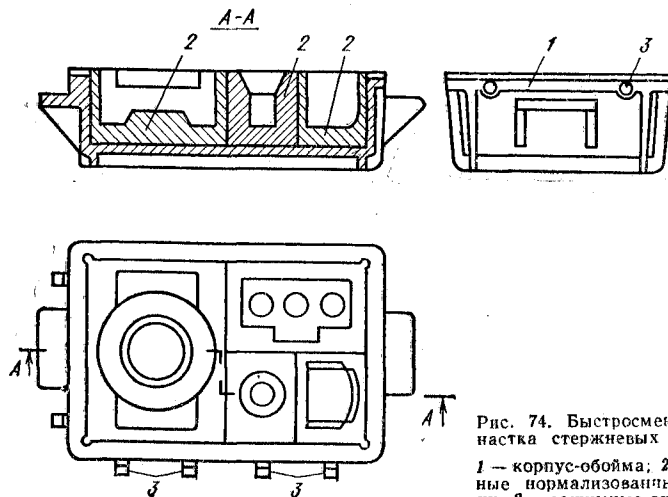


Рис. 74. Быстросменная оснастка стержневых машин:
1 — корпус-обойма; 2 — вилочные нормализованные ящики; 3 — зажимные винты

от размеров стержней. Кроме этого, сушка стержней может осуществляться токами высокой частоты. После сушки стержни подвергаются отделке и контролю. Изготовленные стержни должны обладать хорошей прочностью (прочность на разрыв, для чугуна литья 4—6 кгс/см²), высокой газопроницаемостью (70—130 см/мин), огнеупорностью, податливостью, легкой выбиваемостью из отливка, низкой гигроскопичностью и минимальной газотворной способностью.

Цикл изготовления стержней можно уменьшить (за счет сушки), применяя для их производства химически твердеющие смеси, содержащие в качестве связующего жидкое стекло или искусственные смолы (песчано-смоляные смеси). Вместо сушки стержни из жидко-стекольной смеси продувают углекислым газом в течение 1—5 мин.

Стержни из песчано-смоляных смесей изготавливают в металлических ящиках, нагретых до 250—280° С. В качестве связующего вещества применяют различные смолы. Под действием тепла смола расплавляется и равномерно обволакивает зерна песка. Затем при дальнейшей выдержке идет процесс затвердевания смолы, в результате чего получается стержень, обладающий высокой прочностью. Цикл изготовления стержня в зависимости от его массы составляет от 1 до 4 мин.

Для нагревания стержневого ящика используют электронагреватели, встроенные в тело ящика, либо газовые горелки, вмонтированные в машину. Ящик заполняют стержневой смесью либо свободной засыпной, либо путем надува так же, как в пескодувных машинах.

Глава IV

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕСЧАНЫХ ФОРМ

В зависимости от размеров и массы отливок, а также от типа производства (индивидуальное или массовое) применяют следующие способы формовки:

- 1) ручная формовка в почве;
- 2) ручная формовка в опоках;
- 3) машинная формовка в опоках.

Первые два способа формовки трудоемки, малопродуктивны и имеют очень ограниченное применение. Основным способом является машинная формовка.

1. МАШИННАЯ ФОРМОВКА

Машинная формовка по сравнению с ручной имеет значительные преимущества: резко увеличивается производительность, улучшаются условия труда рабочих, повышается качество отливок, снижается брак и себестоимость литья. Такие трудоемкие операции, как уплотнение формовочной смеси в опоках, их поворот и выемка моделей из формы механизированы.

Для изготовления песчаных форм на машинах необходимо иметь специальную модельно-опочную оснастку:

1) универсальные металлические подмодельные плиты, позволяющие ускорять монтаж и перемонтаж моделей:

2) точно изготовленные металлические модели;

3) металлические взаимозаменяемые опоки.

Технология изготовления форм на машинах заключается в следующем: модель с модельной плитой, закрепленной на столе машины, обдувают сжатым воздухом и опрыскивают керосином, чтобы не прилипла формовочная смесь. Затем на плиту ставят нижнюю опоку и наполняют ее формовочной смесью из бункера, расположенного над машиной. В зависимости от применяемого типа машин смесь в опоке уплотняется встряхиванием, прессованием или другим способом, после чего излишек смеси срезают линейкой заподлицо с кромкой опоки. После этого на полученную полуформу устанавливают подопочный щиток и полуформу поворачивают на 180° и, подняв модельную плиту или опустив опоку (в зависимости от конструкции машины), вынимают модель.

При формовке верхней полуформы на подмодельную плиту с верхней половиной модели ставят верхнюю опоку и модель стояка и производят все операции формовки так же, как и в случае с нижней полуформой. После удаления моделей готовую верхнюю полуформу снимают с машины и передают на сборку.

На участке сборки в нижнюю полуформу ставят стержень и ее обдувают сжатым воздухом. Затем на нижнюю полуформу, по фиксирующим штырям, ставят верхнюю

полуформу и обе половины формы скрепляют скобами или на форму ставят груз для предупреждения подъема верхней опоки во время заливки металлом.

На рис. 75 показана принципиальная схема изготовления песчано-глинистых форм на формовочных машинах.

Готовую форму ставят на конвейер и подают к месту заливки.

По способу уплотнения смеси в опоках машины делят на следующие типы: встряхивающие, встряхивающие

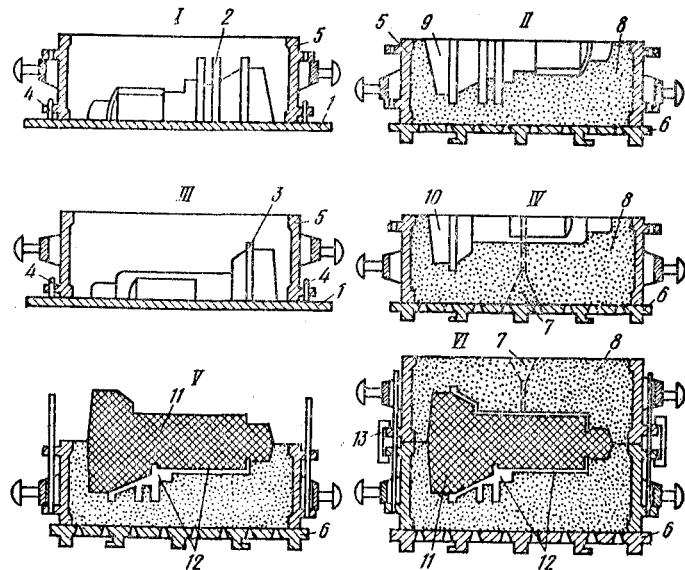


Рис. 75. Схема последовательного изготовления песчано-глинистых форм на формовочных машинах:

I — оснастка для изготовления нижней полуформы; II — нижняя полуформа; III — оснастка для изготовления верхней полуформы; IV — верхняя полуформа; V — нижняя полуформа с установленным стержнем; VI — собранная форма; 1 — модельная плита; 2 — нижняя половина модели; 3 — верхняя половина модели; 4 — фиксирующие штыри; 5 — опоки; 6 — подопочные плиты; 7 — литниковая система; 8 — формовочная смесь; 9 — полость, образованная нижней моделью; 10 — полость, образованная верхней моделью; 11 — стержень; 12 — полость, образованная моделью и стержнем; 13 — скобы для скрепления опок

с подпрессовкой, прессовые (с нижним и верхним прессованием), пескодувные, пескострельные и пескометы.

Встряхивающие машины применяют главным образом для изготовления форм в высоких опоках. Уплотне-

ние смеси происходит за счет встряхивания, возникающего при ударе стола машины с закрепленной на нем плитой и опокой о станину машины. Стол машины под действием сжатого воздуха давлением 6—7 ат, поступающего в цилиндр машины, поднимается на некоторую высоту и затем под действием силы тяжести падает, ударяясь об опору. При этом смесь уплотняется. Уплотнение зависит от силы и числа ударов (обычно 30—50 в минуту) стола о станину машины. Сила удара зависит также от высоты падения стола, которая составляет 30—100 мм. На машинах указанного типа можно изготавливать песчаные формы в опоках с размером в свету до 1200×800 мм и высотой до 450 мм; при этом производительность машин составляет около 15 крупных форм в час.

На встряхивающих машинах уплотнение формовочной смеси в опоке происходит неравномерно — нижние слои смеси уплотняются сильнее, а верхние — слабее (рис. 76). Для устранения этого недостатка применяются встряхивающие машины с допрессовкой верхних слоев формы. В этом случае характер распределения плотности смеси показан пунктирной кривой (рис. 76, б).

Прессовые формовочные машины применяются двух видов (с верхним и нижним прессованием) и приводятся в действие сжатым воздухом давлением 5—7 ат, при этом давление на смесь составляет 5—40 кгс/см². Принцип работы машины с верхним прессованием показан на рис. 77, а. На подмодельную плиту 2 с моделью 3, укрепленную на столе машины 1, ставят опоку 4 со съемной наполнительной рамкой 5. Опоку и наполнительную рамку заполняют из бункера формовочной смесью и над опокой устанавливают поворотную траверсу с прессующей колодкой 6. При подъеме стола специальным механизмом вверх форма прижимается к плите неподвижной траверсы. Смесь уплотняется колодкой 6, которая, войдя в рамку, выдавливает из нее смесь и уплотняет ее в опоке. Затем стол с заформованной опокой опускают и траверсу с колодкой отводят в сторону. Готовую полуформу снимают и на стол машины ставят следующую опоку. В машинах с нижним прессованием (рис. 77, б) роль наполнительной рамки выполняет углубление в неподвижном столе 7. Недостатком формовочных прессовых машин является неравномерное уплотнение формовочной

смеси по высоте опоки. При верхнем прессовании более плотными получаются верхние слои смеси в опоке, а при нижнем — нижние, прилегающие к модели. Поэтому прессовые машины применяют для формовки в опоках небольшой высоты (до 200 мм). Так как машины с нижним прессованием имеют более сложную конструкцию и

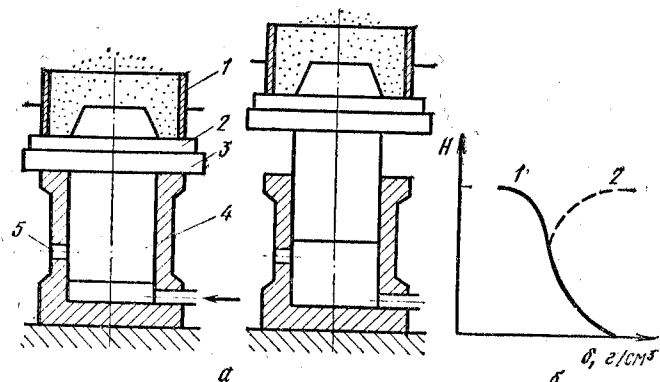


Рис. 76. Схема работы встряхивающей формовочной машины (а) и распределение степени уплотнения смеси по высоте опоки (б):

1 — опока; 2 — плита с моделью; 3 — стол машины; 4 — поршень; 5 — отверстие для выхода сжатого воздуха

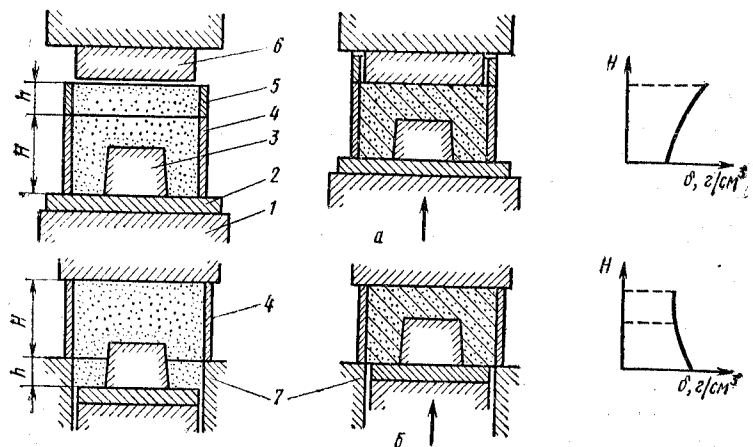


Рис. 77. Схема верхнего (а) и нижнего (б) прессования и график распределения плотности смеси по высоте опоки

процесс, то на практике применяют в основном машины с верхним прессованием. Удельное давление прессования обычно составляет 3—5 кгс/см².

Обычно формовочные машины установлены попарно. На одной машине изготавливают верхние полуформы, на другой — нижние. Сборка форм производится на рольгангах, установленных рядом с машинами. Для изготовления больших форм применяют стационарные или передвижные пескометы. Уплотнение смеси в опоке получается достаточно хорошим и равномерным по высоте. Так как пескомет служит только для набивки формовочной смеси в опоку, то рядом с ним устанавливают станок для выемки модели из формы или для выполнения этой операции применяют кран.

Работает пескомет следующим образом: формовочная смесь подается ленточным транспортером в пескометную головку, где подхватывается лопатками, укрепленными на вращающемся диске, и с большой скоростью выбрасывается в опоку, засыпая модель через отверстие в головке пескомета. Скорость вращения диска достигает 1600 об/мин. В процессе набивки опоки рабочий поворачивает и передвигает хобот пескомета, на котором укреплена пескометная головка. На рис. 78 приведены схема набивки смеси пескометом и график распределения плотности смеси по высоте в опоке.

Выше были рассмотрены формовочные машины с точки зрения уплотнения формовочной смеси в опоках. Другой важной операцией при машинной формовке является удаление из форм моделей. В зависимости от способов выемки моделей из форм машины подразделяются на машины со штифтовым подъемом, с протяжкой модели и с поворотной плитой. В машинах со штифтовым подъемом (рис. 79, а) заформованная опока 1 снимается с подмодельной плиты 2 и укрепленной на ней моделью 4 с помощью четырех штифтов 3. При этом подмодельная плита с моделью остается на столе машины 5. Снятая полуформа передается на сборку, и штифты опускаются. Подъем и опускание штифтов, проходящих через отверстия в подмодельной плите, осуществляется с помощью пневматического устройства.

В машинах с протяжкой модели (рис. 79, б) заформованная опока 3 остается на месте, а модель 1 опускается вниз, после чего полуформу снимают с плиты 2 и

передают на сборку. Машины этого типа используют в случае применения высоких, а также имеющих тонкие ребра трудновынимаемых из песчаной формы моделей. В машинах с поворотной плитой (рис. 80) или перекидным столом (рис. 80, б) заформованную опоку вместе с

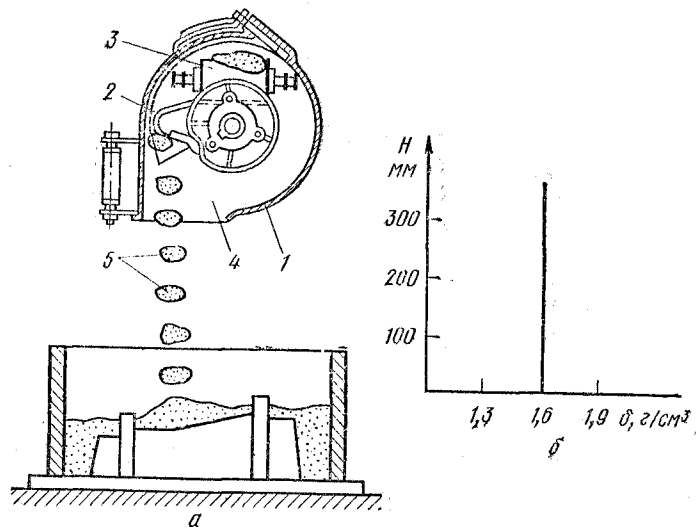


Рис. 78. Схема набивки формовочной смеси пескометом (а) и график распределения плотности смеси по высоте опоки (б):
1 — кожух; 2 — лопатки; 3 — транспортер подающий смесь в голозку пескомета; 4 — отверстие в кожухе; 5 — формовочная смесь

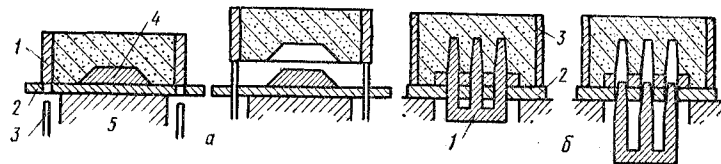


Рис. 79. Схема машины со штифтовым подъемом опок (а) и протяжкой модели (б)

плитой, на которой закреплена подмодельная плита с моделью, поворачивают на 180° и ставят на приемный стол. После этого на машинах с поворотной плитой модель из формы вытягивается кверху путем ее подъема

или опускания приемного стола, а в машинах с перекидным столом модель из формы удаляется опусканием приемного стола.

Для производства мелких фасонных отливок широкое применение получила так называемая безопочная фор-

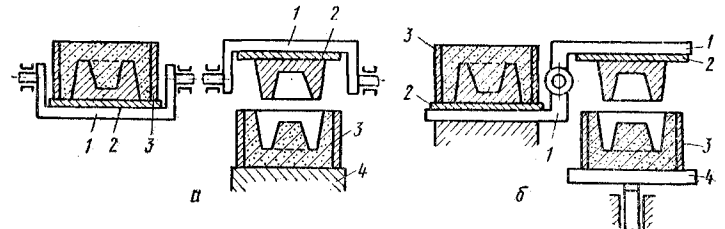


Рис. 80. Схема машин с поворотной плитой (а) и перекидным столом (б):
1 — плита машины; 2 — подмодельная плита с укрепленной на ней моделью; 3 — опока; 4 — приемный стол

мовка в разъемных или съемных опоках (рис. 81). Формовка производится на одной машине (встряхивающей с подпрессовкой). Двусторонняя модельная плита 2 находится на перевернутой верхней опоке 1, а сверху плиты помещается перевернутая нижняя опока 3. Опоки с плитой жестко скрепляются штырями и ставятся на стол машины. Сначала формовочная смесь набивается в нижнюю опоку (позиция а). Затем на заформованную нижнюю опоку кладут подопочный щиток 4 и опоки с плитой поворачиваются на 180°. После этого набивается верхняя опока и потом выдавливается литниковая чаша и нижняя часть стояка (позиция б). Верхняя полуформа снимается с подмодельной плиты (позиция в), после чего плита снимается с нижней полуформы (позиция г). Затем полуформы спариваются (позиция д), с них снимают опоки и перед заливкой металла надевают конический металлический жакет 5 (позиция е). Литье в безопочные формы сокращает парк опок, а также облегчает операцию выбивки.

Полуавтоматические и автоматические формовочные машины подразделяются на однопозиционные проходные и многопозиционные карусельные.

На этих машинах, кроме обычных трудоемких операций формовки, механизированы и все остальные (очист-

ка моделей, установка опок и др.), кроме установки стержней в форму.

На однопозиционных проходных машинах все операции формовки (обдувка модели, подача смеси в опоку,

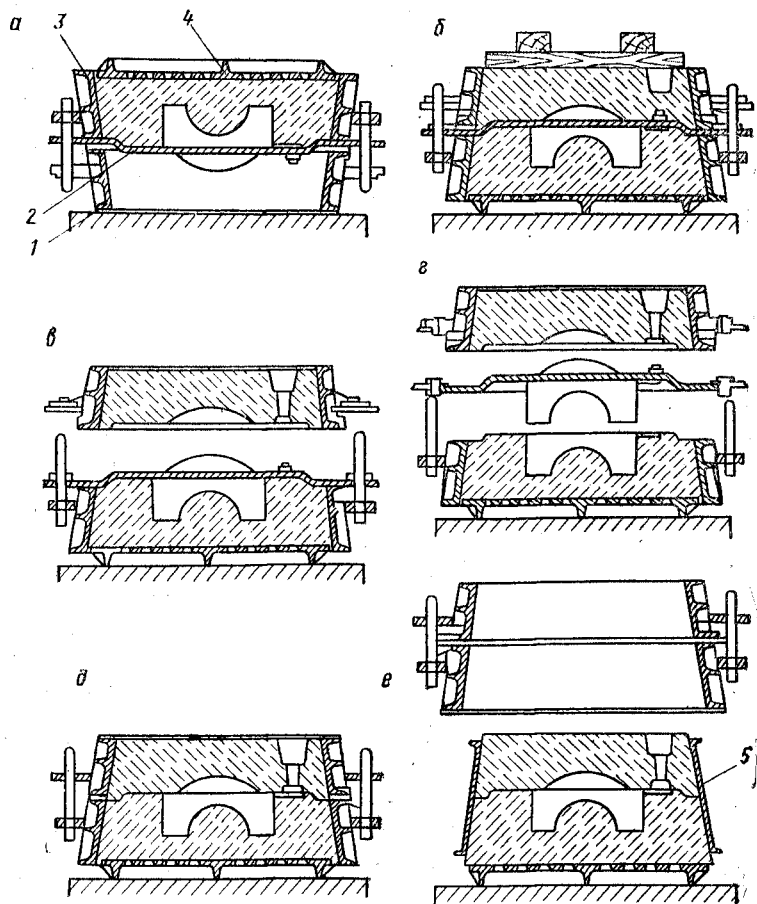


Рис. 81. Схема безопочной формовки по двусторонней модельной плите

уплотнение, подпрессовка, снятие полуформы с подмодельной плиты и подача ее на приемное устройство) производятся последовательно. На многопозиционных карусельных машинах указанные выше операции выполняют-

ся на каждой позиции одновременно (параллельно) с другими.

На рис. 82 показана схема работы проходной встряхивающей формовочной машины с протяжной рамой и подпрессовкой. Пустые опоки толкателем 1 по рольгангу 2 подаются к формовочной машине. При этом шаг подачи опоки равен размеру опоки по ширине. В это время подъемный стол 3 находится на одном уровне с подающим рольгангом 2 в нижнем положении. Это создаст возможность подачи опоки толкателем на подъемный

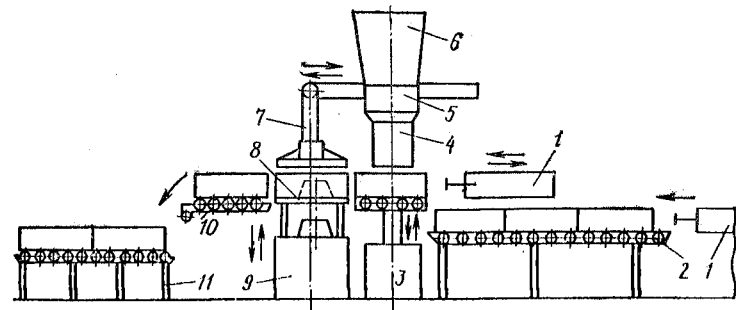


Рис. 82. Схема работы проходной встряхивающей формовочной машины с протяжной рамой и подпрессовкой

стол 3. В этот момент протяжная рама 8 с заформованной опокой находится на одном уровне со столом 10. Движением толкателя 1 пустая опока сталкивает заформованную с протяжной рамы и занимает ее место. Одновременно дозатор 5 с воронкой 4 и прессовой траверсой 7 перемещаются до тех пор, пока воронка не займет место над пустой опокой. Тогда протяжная рама с пустой опокой опускается на модельную плиту, после чего из дозатора определенная порция формовочной смеси засыпается в опоку. Затем происходит процесс встряхивания. Пустой дозатор с воронкой отводится вправо под бункер 6, из которого в него поступает очередная порция формовочной смеси. Одновременно с дозатором передвигается и прессовая траверса, которая останавливается над столом машины. По окончании встряхивания прессовый поршень 9 поднимает стол с установленными на нем подмодельной плитой и опокой. При этом с помощью прес-

совой траверсы происходит подпрессовка верхних, слабо уплотненных при встряхивании слоев формовочной смеси. После подпрессовки поршень начинает опускаться вместе с подмодельной плитой и заформованной опокой. Затем протяжная рама с опокой останавливается на одном уровне с приемным столом, а модель с плитой, жестко закрепленной на прессовом столе, продолжает опускаться, в результате чего осуществляется протяжка

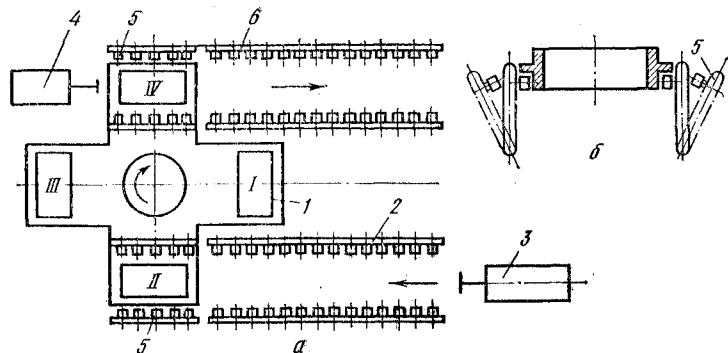


Рис. 83. Схема работы четырехпозиционного карусельного формовочного автомата

модели. Готовая полуформа последующей пустой опокой сталкивается на стол-кантователь 10, который поворачивается на 180° и ставит полуформу разъемом вверх на приемный рольганг 11. Стол-кантователь делают в машинах, изготавливающих нижние полуформы, с тем, чтобы он выдавал их в удобном для сборки форм положении. В машинах, предназначенных для изготовления верхних полуформ, стола-кантователя нет, готовая полуформа сталкивается без кантовки на приемный рольганг, далее готовые полуформы поступают на сборку форм.

На рис. 83, а приведена принципиальная схема четырехпозиционного карусельного формовочного автомата. Все механизмы машины, производящие технологические операции, расположены неподвижно относительно перемещающихся на карусели полуформ. В процессе работы карусель I периодически поворачивается на четверть оборота. На позиции I происходит операция обдувки и смазки модели. На позиции II на подмодельную плиту

ставится пустая опока. Эта операция осуществляется следующим образом: толкатель 3 подает опоку по рольгангу 2 на кромочный рольганг 5, а с него она поступает на подмодельную плиту. При этом секции кромочного рольганга расходятся, как показано на рис. 83, б. Затем на этой же позиции происходит заполнение опоки смесью. На позиции III формовочная смесь уплотняется встряхиванием с последующей подпрессовкой. На позиции IV происходит протяжка модели и съем готовой полуформы с помощью толкателя 4 и кромочного рольганга 5. Готовые полуформы по рольгангу 6 поступают на сборку. У формовочного автомата на каждой позиции все механизмы работают одновременно и параллельно, что обуславливает его высокую производительность.

2. СУШКА ФОРМ

Сушка форм является нежелательной операцией, так как она увеличивает продолжительность процесса изготовления отливок. Однако в ряде случаев (изготовление стальных и крупных чугунных отливок) она необходима.

Температура сушки форм должна быть ниже температуры, при которой глина теряет связующую способность, т. е. ниже 400°C . Сушка форм обычно производится в камерных печах, длится 6—40 ч.

В некоторых случаях объемную сушку заменяют поверхностной подсушкой рабочей полости формы на глубину 10—40 мм (с помощью переносных сушил или инфракрасных лучей). Причем длительность этой операции составляет всего 25—30 мин.

3. СБОРКА ФОРМ

От правильности сборки форм, в значительной степени зависит точность изготавливаемых отливок и их качество. Операцию сборки начинают с установки нижней полуформы на заливочную площадку, рольганг или тележку конвейера. Затем полость полуформы продувают сжатым воздухом, устанавливают в нее стержни и нижнюю полуформу осторожно по фиксирующим штырям накрывают верхней. Для предотвращения подъема верхней полуформы статическим давлением металла ее скрепляют с нижней полуформой скобами или ставят грузы.

ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Для производства отливок применяют сплавы, обладающие хорошими литейными свойствами, позволяющими получать из них отливки весьма сложной конфигурации. К хорошим литейным свойствам сплавов относятся высокая жидкотекучесть, малая усадка при затвердевании и дальнейшем охлаждении, незначительная ликвация, низкая способность сплавов поглощать газы при плавке и заливке.

1. ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ

Жидкотекучестью сплава называется его способность заполнять полость литейной формы и точно воспроизводить очертание этой полости. Существует много способов для определения жидкотекучести металлов и сплавов, из них наибольшее распространение получила спиральная проба постоянного трапециевидного поперечного сечения площадью $0,56 \text{ см}^2$ (рис. 84). По длине, полученной в одинаковых условиях отлитой спирали, судят о жидкотекучести; чем больше длина спирали, тем больше жидкотекучесть сплава. С повышением температуры жидкотекучесть одного и того же сплава повышается, а с увеличением окисляемости и газонасыщенности уменьшается. Для сравнения жидкотекучести различных сплавов необходимо производить их заливку при опре-

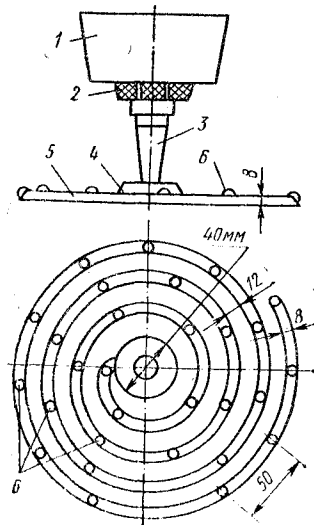


Рис. 84. Спиральная проба для определения жидкотекучести металлов и сплавов:

1 — литниковая чаша; 2 — фильтр;
3 — стоик; 4 — металлоприемник;
5 — спиральный канал; 6 — выступы на спирали

деленной температуре (например, на 100°C выше температуры ликвидус) в одинаковые формы; тогда жидкотекучесть будет зависеть только от природных свойств самого сплава. Высокой жидкотекучестью обладают серый чугун, алюминиевые высококремнистые сплавы (силумины), цинковые и медные сплавы. Примерная жидкотекучесть алюминиевого сплава марки АЛ2 (10—12% Si; остальное алюминий) при указанных условиях составляет 60—65 см.

2. УСАДКА

Усадкой называется свойство металлов и сплавов уменьшаться в линейных размерах и объеме при охлаждении от температуры заливки до комнатной. С усадкой сплавов связано образование многих пороков в отливках: усадочные раковины, рыхлота, коробление и трещины. Последние два дефекта связаны с появлением внутренних напряжений при затвердевании отливки.

Литейная усадка может быть свободной и затрудненной (когда имеются помехи в виде сопротивления стержней, отдельных частей формы и др.). Свободная усадка всегда больше затрудненной. Так, например, литейная линейная усадка алюминиевого сплава марки АЛ2 примерно составляет: свободная 0,9%, затрудненная 0,8%.

К внутренним напряжениям, образующимся в отливках, относятся усадочные (получающиеся за счет затрудненной усадки), тепловые (возникающие из-за неравномерного охлаждения тонких и толстых частей отливки) и фазовые (связанные с изменением структуры сплава и размеров кристаллов, что приводит к изменению объема отливки).

Внутренние напряжения могут влиять на качество отливки следующим образом: 1) если литейные напряжения больше предела текучести, но меньше предела прочности сплава, то они вызовут коробление отливки; 2) если литейные напряжения превышают предел прочности сплава, то в отливке образуются трещины.

Трещины могут быть горячие и холодные. Горячие трещины возникают при температуре, близкой к температуре плавления сплавов, когда отливки имеют низкую прочность. Горячие трещины имеют окисленную темную поверхность. Холодные трещины возникают в затверде-

шем сплаве, в отливках сложной конфигурации, имеющих неравномерные сечения стенок, изготовленных из сплавов с большой литейной усадкой.

3. ЛИКВАЦИЯ

Ликвацией называется образование неоднородности химического состава в различных частях отливки. Различают два основных вида ликвации: зональную, когда отдельные зоны отливки имеют различный химический состав, и внутрикристаллическую, когда состав кристаллов неоднороден (например, при быстром охлаждении отливок состав кристаллов не успевает выравниваться). В стали и чугуне ликвируют сера, фосфор, углерод, неметаллические включения, располагаясь главным образом в верхней и осевой частях отливки, т. е. в местах, затвердевающих в последнюю очередь. Зональная ликвация может быть уменьшена перемешиванием сплава перед его заливкой в формы и последующим быстрым охлаждением отливки.

4. СПОСОБНОСТЬ СПЛАВОВ ПОГЛОЩАТЬ ГАЗЫ

Металлы и сплавы обладают способностью поглощать различные газы (азот, водород, кислород и др.). Причем повышение температуры жидкого металла приводит к увеличению содержания газов в сплаве, в результате чего его литейные и механические свойства понижаются.

Глава VI

ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Литниковой системой (см. рис. 65) называется система каналов, обеспечивающая подвод жидкого металла к полости формы, а также отделение и задержку неметаллических включений.

1. ТИПЫ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Из всех применяющихся литниковых систем основными являются (рис. 85): 1) верхняя; 2) нижняя (сифонная); 3) боковая (в этом случае питатели подводят по

разъему формы); 4) ярусная или этажная (здесь питатели подводят к отливке на нескольких уровнях; к этому же типу относится вертикально-щелевая литниковая система); 5) дождевая.

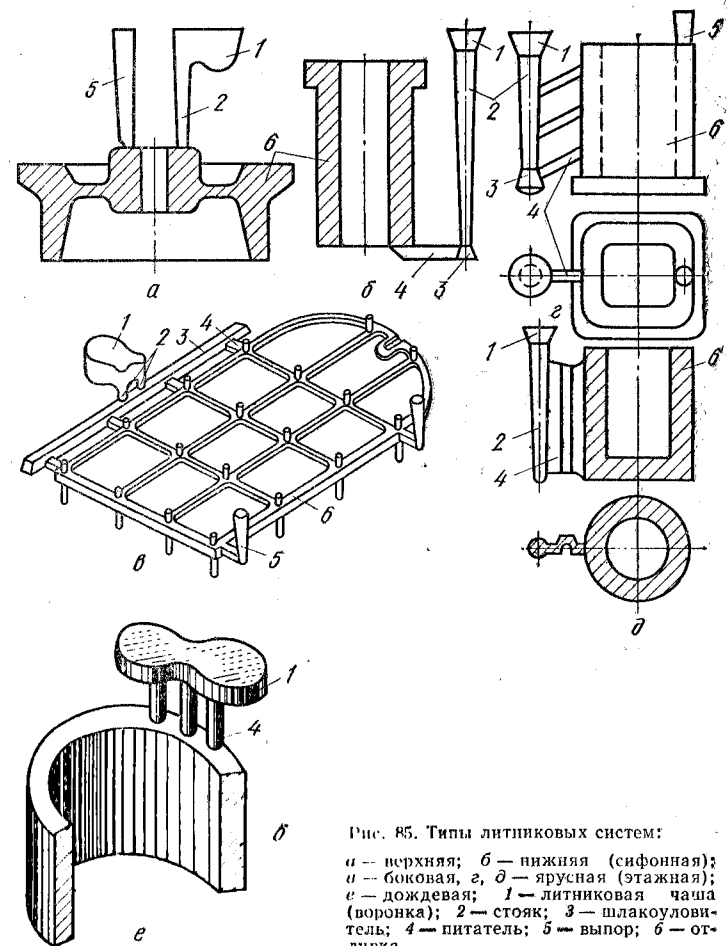


Рис. 85. Типы литниковых систем:

а — верхняя; б — нижняя (сифонная); в — боковая; г, д — ярусная (этажная); е — дождевая; 1 — литниковая чаша (воронка); 2 — стояк; 3 — шлакоуловитель; 4 — питатель; 5 — выпор; 6 — отливка

Выбор типа литниковой системы зависит от применяемого сплава, конструкции отливки, положения ее при заливке, от места подвода питателей и т. д. При этом

надо стремиться, чтобы расход металла на литниковую систему был минимальным.

Для получения качественных отливок стремятся обеспечить направленное затвердевание отливки.

Литниковые системы применяют двух типов: сужающиеся, когда $F_{ст} > F_{шл} > F_{пит}$, и расширяющиеся, в этом случае $F_{ст} < F_{шл} < F_{пит}$, где $F_{ст}$, $F_{шл}$ и $F_{пит}$ — площади сечений стояка, шлакоуловителя и питателя.

Литниковые системы первого типа хорошо улавливают шлак и уменьшают инжекцию (подсос) воздуха. Эти системы применяют при изготовлении отливок из чугуна и стали.

Литниковые системы второго типа обеспечивают небольшую скорость движения металла в каналах, что способствует спокойному плавному заполнению полости формы без окисления металла. Эти системы применяют при изготовлении отливок из сплавов, склонных к окислению и образующих прочные окисные пленки (алюминиевые, магниевые и др.).

2. РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

От правильного выбора и расчета литниковой системы зависит качество отливок, а также степень использования заливаемого в форму металла. Размеры элементов литниковой системы определяют по формулам гидравлики, в которые введены обобщенные опытные коэффициенты. Расчет начинают с определения наименьшей суммарной площади сечения питателей по формуле

$$\Sigma F_n = \frac{Q1000}{z\mu\sqrt{2gH_p}},$$

где ΣF_n — суммарная площадь поперечного сечения питателей, см²;

Q — масса жидкого металла, залитого в форму, кг;

g — ускорение силы тяжести, см/с²;

z — продолжительность заполнения формы жидким металлом, с;

μ — коэффициент сопротивления литниковой системы и формы, принимаемый равным для крупного толстостенного литья 0,7—0,8 и для тонкостенного сложного литья 0,3—0,4;

H_p — средний расчетный напор, см;

γ — плотность жидкого металла, г/см³.

Средний расчетный напор при заливке форм зависит от расположения отливки в форме (рис. 86), его определяют по формуле

$$H_p = H \frac{P^2}{2C},$$

где H — расстояние от места подвода металла в полость формы до его уровня в литниковой чаше, см;

P — расстояние от места (уровня) подвода металла до самой верхней точки отливки, см;

C — высота отливки, см.

Продолжительность заливки зависит от типа сплава, массы жидкого металла, поступающего в форму, и от толщины стенки отливки.

Одна из наиболее принятых формул для определения времени заливки:

$$z = S_1^3 \sqrt{Q\delta},$$

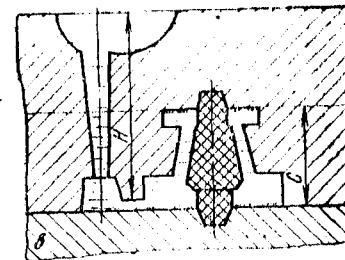
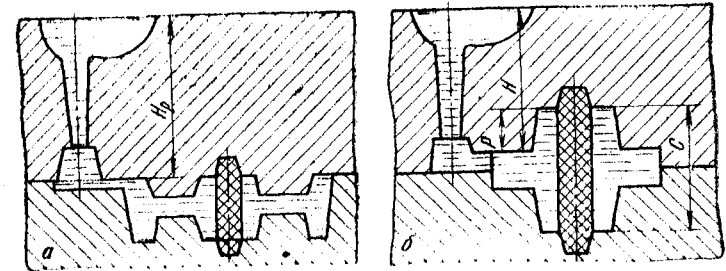


Рис. 86. Примеры различных способов подвода жидкого металла в полости литейных форм и связанные с этим изменения расчетного напора (H_p):

a — в верхнюю часть полости; b — в среднюю; c — в нижнюю

где δ — преобладающая или средняя толщина стенок отливки, мм;

S — коэффициент, зависящий от толщины стенки и конфигурации отливки, который принимается для отливок из стали равным 1,0—1,8, из чугуна 1,7—2,0; из медных сплавов 1,9—2,0, из алюминиевых сплавов 2,0—3,0 и из магниевых сплавов 2,5—4,5.

По суммарной площади поперечных сечений питателей затем определяют поперечные сечения остальных элементов литниковой системы. Эти сечения определяют, исходя из определенных соотношений, установленных практикой.

Примерные соотношения площадей поперечных сечений элементов литниковых систем $\Sigma F_{\text{лит}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}}$:

- 1) для стальных отливок 1; 1,2; 1,4;
- 2) для чугунных отливок 1; 1,1; 1,2;
- 3) для отливок из медных сплавов 4; 2; 1;
- 4) для отливок из алюминиевых сплавов 5,0; 2,5; 1,0;
- 5) для отливок из магниевых сплавов 6; 3; 1.

Определив из приведенного соотношения поперечную площадь сечения стояка $F_{\text{ст}}$ в его нижней части, затем определяют диаметр стояка в нижней части $d_{\text{н}}$ по формуле

$$d_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{ст}}}{\pi}}$$

Диаметр стояка в верхней части $d_{\text{в}}$ около чаши берется на 10—15% больше, т. е. $d_{\text{в}} = (1,1 \div 1,15) d_{\text{н}}$.

Размеры воронки принимаются в зависимости от диаметра стояка.

После определения из приведенного выше соотношения поперечной площади сечения шлакоуловителя $F_{\text{шл}}$ определяют его размеры из формулы

$$F_{\text{шл}} = \frac{a+b}{2} h_{\text{шл}},$$

где a и b — основания трапеции (шлакоуловителя), мм;
 $h_{\text{шл}}$ — высота шлакоуловителя, мм.

Значения a , b и h находят путем интерполяции (подбора) таким образом, чтобы b было больше a пример-

но на 1%, а $h_{\text{шл}}$ больше высоты сечения питателя в 1,5—2 раза.

Выпор служит для выхода воздуха и газов из полости формы при заливке металла и ставится над самой высокой частью отливки. Диаметр выпора обычно принимают равным 0,5—0,7 толщины отливки в месте его установки. Прибыль применяют для устранения усадочных раковин в отливках. Ее располагают над самой массивной частью отливки и по размерам делают такой, чтобы металл затвердевал в ней последним, т. е. после затвердевания отливки. Тогда усадочная раковина перемещается в прибыль и отливка получается плотной (рис. 87). С целью уменьшения расхода металла и улучшения питания отливок (особенно больших) применяют прибыль с принудительным давлением (сжатого воздуха или газа).

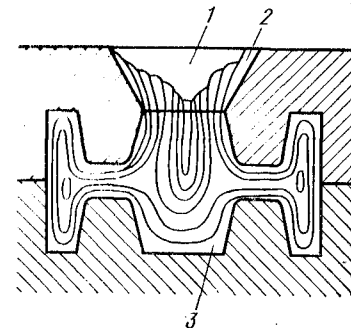


Рис. 87. Схема образования усадочной раковины в прибыльной части отливки:

1 — усадочная раковина; 2 — прибыль; 3 — отливка

3. ОСОБЕННОСТИ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СПЛАВОВ

При изготовлении чугунных отливок металл обычно заливают в формы из ковша через носок, при этом не исключено попадание шлака. На практике применяют сужающиеся литниковые системы, которые позволяют лучше улавливать шлак. С этой же целью применяют литниковые чаши с перегородкой, различного рода фильтрующие и шлакоулавливающие устройства (шлакоуловители) в каналах литниковой системы. В большинстве случаев чугун подводят в тонкие части отливок.

При изготовлении стальных отливок, благодаря применению стопорных ковшей, устраняется опасность попадания шлака в отливки. Поэтому литниковая система упрощается — нет сложных шлакоуловителей, а вместо

литниковых чаш применяют воронки. Для более спокойного заполнения формы наиболее часто применяют сифонный и ярусный подводы металла и большое внимание уделяется применению прибылей. При изготовлении отливок из цветных сплавов (магниевого, алюминиевого, медного) особое внимание обращают на плавное, спокойное заполнение формы металлом. С этой целью применяют литниковые системы расширяющегося типа с сифонным подводом металла, а также вертикально-щелевые литниковые системы.

Глава VII

ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК

1. ЗАЛИВКА ФОРМ

Формы заливают на плацу, рольгангах и конвейерах. На плацу обычно заливают мелкие и средние формы в небольших литейных цехах. Кроме того, на плацу, непосредственно на месте формовки, заливают также формы для производства единичных крупных отливок с длительным циклом изготовления.

В литейных цехах, производящих большое количество отливок, формы заливают обычно на конвейере. В этом случае формовочные машины установлены вдоль замкнутого литейного конвейера (рис. 88), который состоит из ряда тележек 7, непрерывно движущихся по рельсовому пути 6 при помощи привода 8. Изготовленные на машинах формы собираются на рольгангах 1. Сборка формы состоит в установке в нижнюю полуформу стержней и накрытии, по фиксирующим штырям, верхней опоки на нижнюю. Готовые формы 2 с помощью монорельсов 14 и пневматических подъемников 12 ставятся на тележки конвейера и передаются последним к месту заливки. Там их заливают из ковшей 4, транспортируемых от плавильных агрегатов по замкнутому монорельсу 3. Заливочная площадка 5, на которой стоит рабочий, заливающий в формы металл, движется со скоростью конвейера, что облегчает работу заливщика. Охлаждение залитых металлом форм происходит на кон-

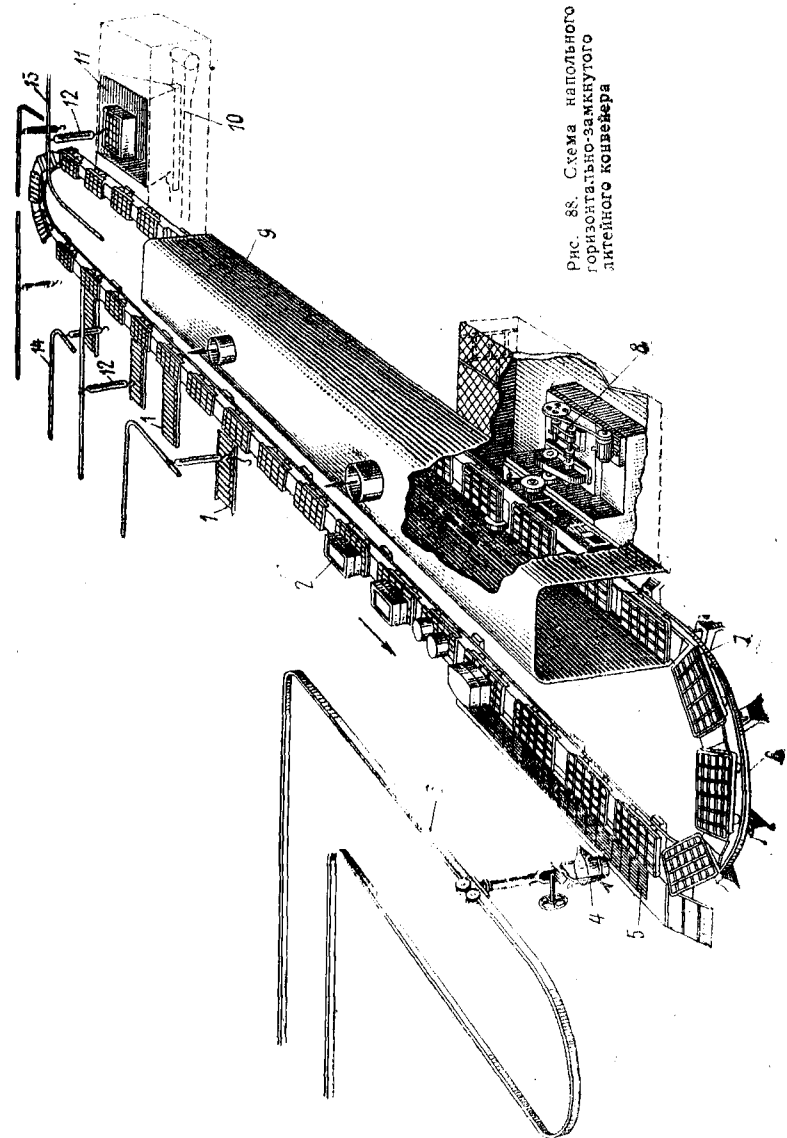


Рис. 88. Стела наполненного горизонтально-замкнутого литейного конвейера

вейере во время прохождения их через охлаждающий кожух 9 с вентиляционным отсосом. После охлаждения формы 2 поступают в отделение выбивки, где при помощи пневматического подъемника 12, подвешенного к монорельсу 13, они снимаются, ставятся на выбивную решетку 11 и выбиваются. Выбитая формовочная смесь попадает на транспортер 10 и передается в землеприготовительное отделение на переработку, а отливки направляются в отделение очистки и обрубки. Пустые опоки возвращаются пневматическим подъемником по монорельсу 14 к формовочным машинам.

Формы заливают из ручных или крановых ковшей. Емкость ручных ковшей не превышает обычно 50 кг, а емкость механизированных ковшей составляет 50—200 т и более. Для заливки чугуна большое применение получили ковши барабанного типа емкостью до 5 т. При заливке форм на рольгангах или кошвейерах применяют ковши с механическим подъемом и опусканием. Для исключения возможности попадания в форму при заливке металла флюса или шлака ковши снабжают специальными перегородками. Эти ковши (чайникового типа) применяют главным образом при заливке магниевых сплавов.

В сталелитейных цехах при производстве средних и крупных отливок для заливки форм применяют ковши со стопорным устройством.

Стальной кожух ковшей футеруют огнеупорным материалом. Перед пуском в работу ковши тщательно просушивают. Ковши для чугуна сушат при температуре 300—400°С, а ковши для стали прокаливают докрасна (750—800°С). Металл из ковша поступает в литниковую чашу, которая при заливке должна быть заполненной.

Большое значение имеет температура заливаемого металла, от которой зависит хорошее заполнение всех частей формы. Температуры заливки для различных сплавов колеблется в следующих пределах: для серого чугуна 1250—1400°С, углеродистых и низколегированных сталей 1500—1600°С, оловянных бронз 1120—1200°С, алюминиевых бронз 1100—1160°С, алюминийвокремниевых сплавов 680—780°С и магниевых 730—780°С.

2. ОХЛАЖДЕНИЕ И ВЫБИВКА ФОРМ

Время охлаждения отливок в форме зависит от теплофизических свойств формовочной смеси, толщины стенок отливки, от теплосодержания металла и его склонности к образованию трещин. Продолжительность охлаждения небольших простых отливок со стенками малой толщины исчисляется минутами, а для охлаждения массивных отливок весом 50—60 т требуется несколько суток. Длительное охлаждение отливок в форме невыгодно, так как удлиняет технологический цикл. Поэтому непродуваемое время стараются сократить за счет применения принудительного охлаждения (обдувка залитых форм холодным воздухом в охлаждающем кожухе и пр.).

Из практики работы литейных цехов известно, что чугунные и стальные отливки можно выбивать из форм при следующих температурах: крупные 300—400°С, средние 400—500°С, мелкие 500—600°С. Отливки из цветных сплавов выбивают из форм при следующих температурах: бронзовые и латунные 300—400°С, алюминиевые 200—250°С, магниевые 100—150°С.

Преждевременная выбивка ввиду недостаточной прочности отливок в это время может привести к деформации или разрушению их под действием внешних нагрузок.

После охлаждения отливок до необходимой температуры формы выбивают. Обычно это делается на выбивных решетках, куда опоки поочередно сталкиваются с кошвейера пневматическим толкателем или передаются при помощи пневматического подъемника. При этом формовочная смесь из опок просыпается сквозь отверстия решетки, попадает на транспортер и передается на переработку в землеприготовительное отделение, а отливки транспортируются в отделение выбивки стержней, обрубки и очистки литья. На рис. 89 показана схема автоматической выбивки песчаных форм. Выбитые из форм отливки затем поступают на очистку (рис. 90).

Для удаления из крупных отливок песчаных стержней применяют пневматические вибрационные машины или гидравлические камеры. На вибрационных машинах отливки зажимаются в пневматических тисках машины, затем включается вибратор, от работы которого стерж-

ни разрушаются и высыпаются. В гидравлических камерах стержни размываются и удаляются из отливок под действием водяной струи.

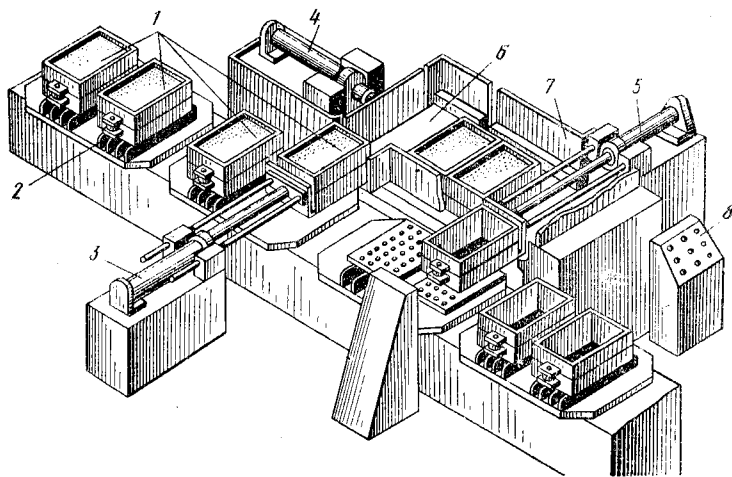


Рис. 89. Схема устройства автоматической установки для выбивки песчаных форм:

1 — залитые металлом формы; 2 — тележки конвейера; 3 — толкатель, подающий залитые формы на приемный стол; 4 — толкатель, передающий залитые формы на выбивную решетку; 5 — толкатель, сталкивающий пустые опоки на конвейер; 6 — приемный стол для залитых форм; 7 — электромеханическая выбивная решетка; 8 — пульт управления

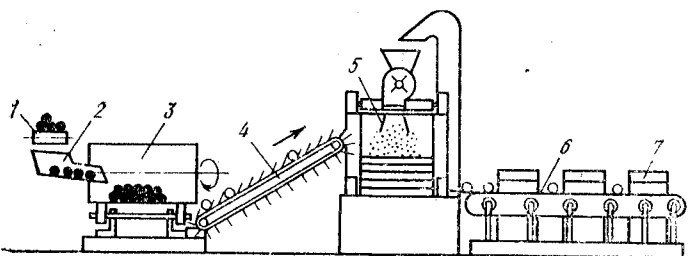


Рис. 90. Схема устройства поточной линии для очистки чугунных отливок массой до 40 кг:

1 — транспортер, подающий отливки от выбивной решетки; 2 — инерционная выбивная решетка; 3 — головочный (очистный) барабан непрерывного действия; 4 — транспортер; 5 — дробеметный барабан; 6 — ленточный транспортер; 7 — шлифовальные станки для обдирки отливок

3. ОБРУБКА И ОЧИСТКА ОТЛИВОК

Обрубка необходима для удаления литников. Эта операция в зависимости от свойств сплавов производится разными способами. Литники от чугунных отливок отбивают ударом молотка или кувалды, а также в специализированных барабанах; от стальных отливок литники отделяют газовой резкой или беззубыми дисками, а у отливок из сплавов цветных металлов литники отрезают на ленточных и дисковых пилах. Для удаления литников у мелких стальных отливок и отливок из медных сплавов применяют пресс-кусачки, а для алюминиевых и магниевых сплавов — обрубные штампы.

Очистку отливок от остатков пригоревшей смеси и заусенцев производят главным образом путем дробеструйной обработки в барабанах, на столах или в камерах.

В индивидуальном и мелкосерийном производстве для очистки мелких чугунных и стальных отливок применяется барабанная очистка, при которой в барабан загружают специальные звездочки, которые, вращаясь вместе с отливками, очищают их.

4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОТЛИВОК

Термическая обработка предназначена для снятия внутренних напряжений, улучшения структуры и свойств отливок. Применяются следующие виды термической обработки отливок: отжиг, нормализация, закалка и отпуск. Все эти виды термической обработки подробно рассмотрены в разделе «металловедение и термическая обработка».

5. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ДЕФФЕКТОВ ОТЛИВОК И ПРИЧИНЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Спаи — сквозные или чаще поверхностные с закругленными краями щели и углубления в теле отливки, образованные неслившимися частями металла. Этот дефект возникает при низкой температуре заливки или очень медленном заполнении полости формы металлом.

Ужиминны — неглубокие узкие капавки или впадины, прикрытые слоем металла, почти совсем отделенным от

отливки прослойкой формовочной смеси; слой металла соединен с отливкой только тонким швом. Данный дефект образуется при недостаточной газопроницаемости формовочной смеси, что приводит к местному вспучиванию поверхностной корочки полости формы.

Плены и намывы — состоят из окислов металла и формовочной смеси и возникают при механическом повреждении формы струей металла.

Наросты различных размеров и формы, состоящие из металла или из металла с включениями формовочной смеси, образуются при заполнении металлом поврежденной полости формы.

Пригар — шероховатая поверхность отливки, получающаяся в результате пропикновения жидкого металла в стенки формы или в результате сплавления формовочных материалов с металлом и его окислами. Этот дефект возникает при чрезмерно высокой температуре заливки и недостаточной огнеупорности формовочных и стержневых смесей.

Окисление и пережог — окисленная поверхность отливки, образовавшаяся в результате нарушения режима термической обработки.

Раковины усадочные — имеют шероховатую поверхность, иногда окисленную; обычно образуются в угловатых частях отливки. Усадочные раковины возникают в результате применения неправильной литниковой системы, неправильного выбора мест установки прибылей, выпоров и холодильников, а также от слишком высокой температуры заливаемого металла в форму.

Рыхлота или пористость — местное скопление мелких усадочных раковин. Причины образования те же, что и в случае усадочных раковин.

Раковины газовые — имеют гладкую и чистую поверхность. Их появление связано с заливкой форм газонасыщенным металлом, пониженной газопроницаемостью или повышенной влажностью форм и стержней, с захватом воздуха струей заливаемого металла. Для уменьшения газонасыщенности сплава надо применять чистые, сухие шихтовые материалы, вести плавку под слоем флюса или в вакуумных печах.

Раковины шлаковые — полости в теле отливки, частично или полностью заполненные шлаком. Возникают при неполноценной очистке от шлака заливаемого ме-

талла, от неправильной литниковой системы, не обеспечивающей улавливание шлака.

Раковины песчаные — полости в теле отливки, содержащие формовочный материал. Этот вид дефекта появляется в результате недостаточной прочности формовочной и стержневой смесей, слабой набивки формы, при неправильном подводе металла, небрежной сборке формы.

Раковины с «корольками» — полости в теле отливки с затвердевшими шариками металла, покрытыми окислами. Этот дефект получается, когда прерывается струя металла в начале заливки формы, а также при образовании всплесков.

Трещины горячие — разрывы или надрывы в теле отливки с окисленными поверхностями. Образование горячих трещин вызывается резкими переходами в конструкции отливок от толстых сечений к тонким, затрудненной усадкой металла, при плотной набивке формы и чрезмерно крепких стержнях, слишком высокой температурой заливки.

Трещины холодные — разрывы или надрывы в теле отливки с чистыми поверхностями. Образуются, когда затруднена усадка отливки, при преждевременной ее выбивки из формы, а также от сильных ударов.

Трещины тепловые — разрывы в теле отливки, получающиеся при термической обработке или газовой резке. Это связано с нарушением режима термической обработки и неравномерным нагревом отливок при сварке.

Несоответствие размеров и массы — уменьшенные или увеличенные размеры и масса отливки по сравнению с чертежом. Причиной этого являются неправильно изготовленные модель и стержневые ящики, либо их износ.

Коробление — искажение конфигурации и размеров отливки под действием напряжений, вызванных неравномерной усадкой или тепловой обработкой отливки. Этот дефект возникает в результате неравномерного остывания отдельных частей отливки в форме, а также после выбивки.

Перекося и разностенность — сдвиг одной части отливки относительно другой, а также смещение полостей и отверстий относительно наружного контура отливки, что приводит к разностенности. Этот дефект является следствием неправильной сборки формы.

Недолив — неполностью выполненная конфигурация отливки. Недолив связан с низкой температурой заливки, неправильной литниковой системой, недостаточным количеством металла в ковше, уходом металла из формы

Заливы — различные выступы и приливы на теле отливки, не предусмотренные чертежом, расположенные в местах разъема формы, либо в зазорах между отдельными частями формы. Заливы образуются из-за неплотного прилегания полуформ, чрезмерно больших зазоров у знаков стержней.

Механические повреждения — нарушение целостности отливок при выбивке их из форм, удалении литников, прибылей и выпоров, обрубке, очистке, правке и т. д. Этот дефект возникает при небрежном обращении с отливками.

Брак возникает также из-за несоответствия металла отливок нормам стандартов или технических условий:

По химическому составу — пониженное или повышенное содержание в сплаве химических элементов. Это может быть при неправильном расчете, загрязнении и взвешивании шихты.

По физико-механическим свойствам — пониженные показатели физико-механических свойств металла отливки. Этот дефект бывает при неправильном химическом составе сплава, несоответствии макро- и микроструктуре, а также в том случае, если металл окислен или имеет посторонние включения.

По макро- и микроструктуре — отклонения по величине, форме, строению или по распределению структурных составляющих от установленных норм или эталонов. Данный дефект возникает при нарушении режимов литья и термической обработке отливок.

Отбел чугунных отливок — присутствие в различных частях отливки твердых, не поддающихся механической обработке, мест со светлой поверхностью излома, обусловленное присутствием в чугуне структурно свободного цементита. Отбел возникает из-за неправильно выбранного химического состава чугуна и очень большой скорости охлаждения отливок.

6. ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ОТЛИВОК И СПОСОБЫ ИХ ИСПРАВЛЕНИЯ

Дефекты отливок выявляются различными методами контроля. Соответствие размеров отливок размерам чертежа устанавливают путем разметки на специальных столах с помощью различных приспособлений. Отливки периодически разрезают для определения размеров внутренних полостей, разностенности, смещений. Контроль размеров отливок позволяет своевременно предупредить массовый брак из-за износа или коробления модели и стержневых ящиков. Механические свойства отливок (предел прочности, относительное удлинение, ударная вязкость, твердость и др.) контролируют испытаниями отдельно изготовленных или прилитых образцов, а также (в отдельных случаях) образцов, вырезаемых из тела отливки.

Отливки, которые по условиям работы должны выдерживать повышенное давление жидкости или газа, подвергают гидравлическим и пневматическим испытаниям при давлениях, несколько превышающих рабочее давление.

Внутренние дефекты отливок выявляются методами радиографической и ультразвуковой дефектоскопии. Сущность радиографических методов (рентгеноскопии, гамма-дефектоскопии) заключается в облучении отливок рентгеновскими или гамма-лучами. Благодаря малой длине волны ($0,10—0,001 \text{ \AA}$), эти лучи легко проходят сквозь толщу отливок. Когда внутри отливок имеются дефекты (раковины, трещины, шлак), которые в меньшей степени поглощают лучи, чем сам металл, то на рентгеновской пленке лучи, проходя через такие дефекты, дают более интенсивное почерчение.

Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвуковой волны отражаться от границы раздела двух сред. Волна, проходящая через стенку отливки, при встрече с границей шлакового включения, трещины или раковины, частично отражается. По интенсивности отраженных волн судят о наличии, глубине залегания и размерах дефектов, находящихся в отливках.

Для выявления наружных поверхностных дефектов применяется люминесцентный контроль, магнитная и цветная дефектоскопия. При люминесцентном методе

поверхность отливки покрывают слоем жидкости, способной светиться в ультрафиолетовых лучах, которая проникает в тонкие трещины, поры и раковины. Затем после промывки и сушки отливки на ее поверхность наносят тонкоизмельченный силикагель, который впитывает флюоресцирующий раствор, оставшийся в трещинах или порах. После этого отливку подвергают облучению ультрафиолетовым светом и по появлению свечения выявляют наличие и размеры поверхностных дефектов.

Магнитной дефектоскопией пользуются для выявления неглубоких дефектов (1—3 мм) в отливках из магнитных сплавов. В этом случае отливку намагничивают и покрывают тончайшим магнитным порошком или суспензией порошка в масле или воде. По искажению силовых магнитных линий и возникновению скопления в отдельных местах магнитного порошка судят о размерах и форме дефектов в поверхностных слоях отливок.

Цветная дефектоскопия заключается в погружении отливок на 5—10 мин в специальные растворы (например, следующего состава — 65% керосина, 30% трансформаторного масла, 5% скипидара), окрашенные красителем. Затем отливки промывают в холодной воде, на их поверхность наносят тонкий слой белой краски (или глины) и сушат. При этом в местах расположения дефектов появляется ярко-окрашенный узел, образующийся в результате впитывания краской раствора, оставшегося в трещинах и углублениях.

Дефекты отливок делятся на недопустимые, допустимые и исправимые. При наличии недопустимых дефектов отливки считаются окончательным браком и отправляются на переплавку. Отливки, имеющие допустимые по техническим условиям дефекты, передаются в механический цех для дальнейшей обработки. Отливки с исправимыми дефектами направляются в специальное отделение литейного цеха для устранения этих дефектов.

Основными способами исправления дефектов отливок являются правка, заварка и пропитка. Правке подвергают отливки, имеющие коробление. Для этой цели применяют главным образом механические (винтовые) и гидравлические прессы. Исправление дефектов с помощью заварки осуществляется двумя способами: 1) дуговой или газовой сваркой и 2) жидким металлом. Отливки перед заваркой нагревают (чугунные до 550—

700° С, алюминиевые и магниевые до 350—400° С), а чтобы исключить окисление применяют специальные флюсы и защитные газы (аргон, СО₂ и др.). Обычно заварку производят сплавом того же состава, что и отливка. В процессе заварки происходит сильный местный разогрев отливки, сопровождающийся появлением термических напряжений, устранение которых достигается повторным отжигом. Для исправления дефектов на обработанных стальных отливках применяют пайку, так как сварка может привести к искажению размеров и изменению твердости. Для пайки применяют твердые припои Cu—Ni (950° С), Cu—Ag (648—567° С) и др. Для заварки жидким металлом отливку засыпают формочной смесью, оставляя открытым дефектное место. На эту часть отливки льют металл. Под действием тепла струи металла дефектное место оплавляется и при охлаждении металл отливки и заварки кристаллизуется вместе. Этот способ применяют главным образом для заварки отливок из оловянных бронз.

Способ пропитки получил широкое применение для исправления пористых отливок. При этом поры заполняются твердеющими материалами, стойкими к воздействию агрессивных сред даже при повышенных температурах. Для пропитки применяют бакелитовый и асфальтовый лаки, стирол и полистирол, жидкое стекло и этилсиликат. Пропитку производят в специальных баках при температуре 150—200° С под давлением 5—6 ат в течение 0,5—1,5 ч. Перед пропиткой отливки обезжируют и подвергают вакуумированию.

Раковины в чугунных отливках иногда заделывают андезитовой или каменной пастой, состоящей из кремнефтористого натрия (~3%) и андезитовой или диабазовой муки (~97%). Сухую смесь замешивают на жидком стекле до пастообразной консистенции. После заделки дефекта пасте дают сохнуть в течение 20 ч.

Исправленные отливки снова подвергают контролю.

7. ДОСТОИНСТВА, НЕДОСТАТКИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИТЬЯ В ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ

Основным достоинством метода литья в песчаные формы является его универсальность. Этот метод применяется для изготовления отливок самой разнообраз-

ной формы, габаритов и массы из различных сплавов в индивидуальном, мелкосерийном, серийном и массовом производствах.

К наиболее существенным недостаткам относятся следующие: недостаточно хорошее качество получаемых отливок (большие припуски на механическую обработку, плохая поверхность, невысокие механические свойства); значительный брак; большой расход металла на литниковую систему; большой расход песка; высокая трудоемкость изготовления отливок; низкий съем литья с квадратного метра площади литейного цеха; плохие санитарно-гигиенические условия труда (загазованность, запыленность) и др. Песчаная форма служит только один раз.

Глава VIII

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ОТЛИВОК И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИХ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Основным законом конструирования является технологичность отливки, или иначе — удовлетворение требований в части простоты конфигурации, — удобства и простоты осуществления всех производственных операций, начиная от формовки, соблюдение плавности переходов от утолщений к тонким местам, необходимой копусности для легкости удаления модели из формы, удобства сборки узла машины, прочности и надежности отливки в эксплуатации и т. д.

Отливки должны иметь по возможности равномерную толщину и прямолинейные очертания стенок, это упрощает конструкцию модели и способствует повышению качества литой детали. Конструкция отливки должна предусматривать наиболее простой разъем модели, что способствует получению литой детали с наиболее точными размерами и облегчает применение формовочных машин. Для облегчения извлечения модели из песчаной формы необходимо ее стенкам придать по высоте уклон. Величина формовочных уклонов зависит от материала и высоты модели, а также от способа формовки.

Базовые поверхности, которые служат опорой при креплении отливки на станке во время их механической обработки, следует предусматривать такими, чтобы на их расположение не могло повлиять ни смещение стержней, ни смещение верхней половины формы относительно нижней. Эти же поверхности принимают за исходные при проверке размеров отливок, а также при изготовлении и контроле моделей.

Базовую и обрабатываемую поверхности необходимо располагать в одной и той же половине формы (желательно в нижней). В том случае, когда базовыми поверхностями при механической обработке являются бобышки, то их надо располагать возможно дальше одну от другой; это позволит обеспечить большую точность установки отливки на металлорежущем станке.

При конструировании литых деталей необходимо также учитывать деформации деревянных моделей, неточности изготовления форм, неточности в выборе величины усадки металла. Допустимые отклонения в размерах отливок установлены ГОСТом. Для серого чугуна они составляют: 1—2 мм для отливок размером до 100 мм и 5—10 мм для отливок размером около 2000 мм.

При наличии в отливке отверстий отклонения межосевых размеров при габарите детали до 500 мм допускаются в пределах $\pm 1\%$, при габарите 2000 мм — до $\pm 0,6\%$ и при большем габарите — до $\pm 0,4\%$. При соединении стенок все острые углы следует сопрягать радиусом от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{4}$ толщины стенки, но не менее 3 мм для алюминиевых и не менее 5 мм для магниевых сплавов; переход от толстого сечения стенки отливки к тонкому должен быть плавным, постепенным. Эти мероприятия помогают избежать появления трещин, усадочных раковин, рыхлот и коробления в отливках.

Иногда сложные и крупные отливки при конструировании целесообразно делить на отдельные составляющие, соединяемые затем болтами или сваркой (сварнолитые детали). Сборные конструкции, состоящие из простых деталей, снижают стоимость изготовления отливок, так как упрощается изготовление моделей, стержневых ящиков, стержней, формовка и сборка форм.

При конструировании следует также уделять большое внимание внутренним полостям и отверстиям, получаемым в деталях в процессе литья с помощью стерж-

ней. Так как применение стержней удлиняет цикл производства отливок из-за увеличения времени на их сушку, надо стремиться обходиться минимальным количеством стержней.

Уменьшение количества стержней является одной из статей снижения стоимости отливок при одновременном повышении точности их размеров.

В том случае когда без стержней нельзя обойтись, необходимо обеспечить надежное крепление их на знаках, создать надежную вентиляцию стержня, возможность его выбивки из отливки и т. д. При этом следует иметь в виду, что отверстия небольшого диаметра получать в литье весьма затруднительно (из-за сложности и недостаточной прочности тонких стержней), поэтому их целесообразнее получать при механической обработке отливок. Исходя из практики литейного производства, можно рекомендовать следующие минимальные диаметры стержней для образования в отливках отверстий: для стали 8—10 мм, чугуна 6—8 мм, медных сплавов 5—7 мм, для легких сплавов 4—5 мм.

Глава IX

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Разработку технологии изготовления отливки начинают с выбора наиболее рационального метода литья, обеспечивающего заданные качества литого изделия.

Выбор метода изготовления отливок производится технологом-литейщиком совместно с конструктором, технологом по холодной обработке металлов и другими специалистами. При этом учитываются, кроме высоких эксплуатационных свойств отливок, также и наиболее высокие технико-экономические показатели производства.

Выбор метода литья производят с учетом типа применяемого сплава, назначения и конструкции детали, массовости производства, а также возможностей данного литейного цеха.

Ниже приводится разработка технологического процесса изготовления отливок для наиболее широко при-

меняемого метода литья в песчано-глинистые формы (рис. 91).

1. На чертеж детали наносят контуры модели и соответствующие литейные указания. Этот чертеж становится основным документом для изготовления отливки. Согласно данному чертежу проектируется и изготавливается

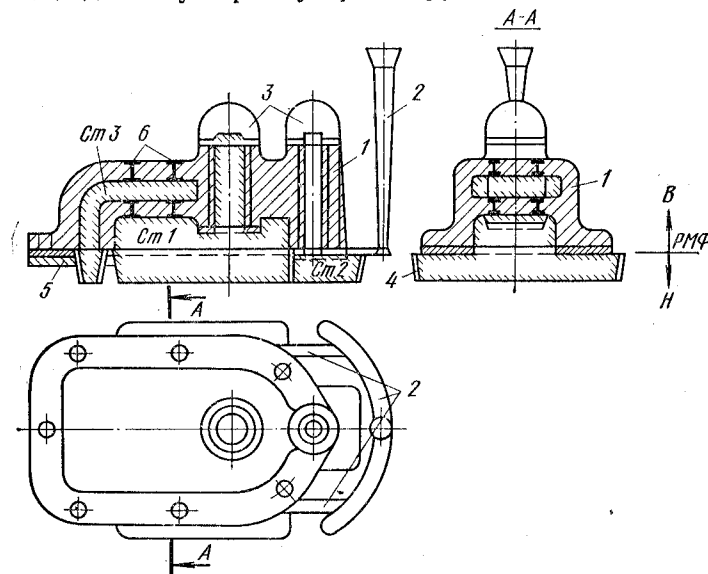


Рис. 91. Технологическая карта отливки:

1 — отливка; 2 — литниковая система; 3 — прибыли; 4 — стержневой знак; 5 — холодильник; 6 — жеребейки

вся модельно-опочная и другая оснастка, необходимая для получения литейной формы.

2. В технологической карте указывают последовательность операций и методику изготовления отливок.

3. Разрабатывают чертеж собранной литейной формы со всеми необходимыми разрезами и размерами.

При технологической разработке на чертеже указывается положение отливки в форме, которое отмечают стрелками или словами «Верх» и «Низ» и на всех проекциях указывают плоскость разреза модели и формы (РМФ).

Правильно выбранная плоскость разреза должна обеспечивать наименьшую трудоемкость изготовления

модели и формы, легкое удаление модели из формы, точность геометрических размеров отливки и снижение затрат на очистку и дальнейшую обработку отливок.

Величину припусков на механическую обработку принимают (согласно ГОСТу) в зависимости от метода литья, материала, класса точности отливки, наибольшего габаритного размера отливки, а также положения

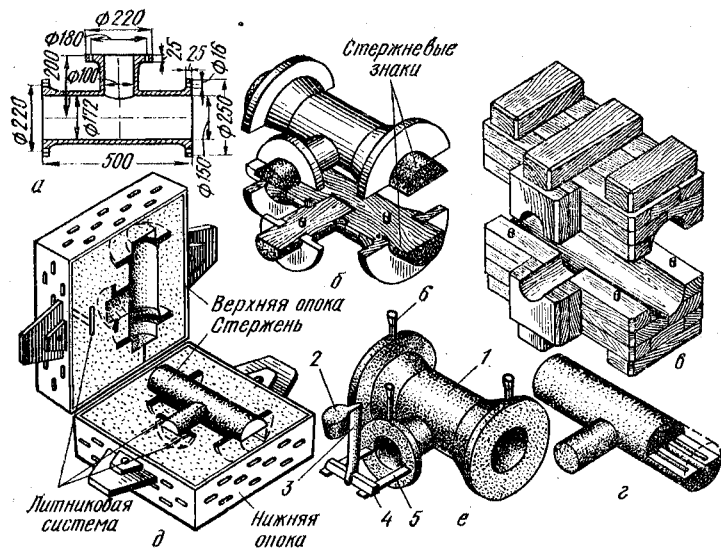


Рис. 92. Последовательность изготовления отливки методом литья в песчаные формы:

а — чертеж детали; б — разъемная модель; в — разъемный стержневой ящик; г — песчаный стержень; д — песчаная форма; е — отливка с литниковой системой; 1 — отливка; 2 — литниковая чаша; 3 — стойк; 4 — шлакоуловитель; 5 — литейщик; 6 — выпор

обрабатываемой поверхности отливки в форме при заливке.

Вертикальные стенки моделей и стержневых ящиков делают с уклонами.

Для оформления внутренних полостей отливки определяют число и границы стержней. Стержням присваивают номера в порядке простановки их в форму. Литниковую систему показывают на чертеже отливки во всех проекциях, позволяющих получить полное представле-

ние о расположении ее элементов. Прибыли и выпоры вычерчивают так же, как и литниковую систему, при этом каждой прибыли присваивают порядковый номер. Размеры литниковых каналов и прибылей определяют расчетом.

Технологические указания делают на чертеже цветными карандашами: красным — припуски на механическую обработку, литниковую систему, прибыли и выпоры. (Контуры отливки с литниковой системой и прибылями). Синим — разъем модели и формы, контуры стержней и знаков; зеленым — холодильники. На чертежах стержней ставят порядковые номера. При машинной формовке модель отливки жестко закреплена на модельной плите. В этом случае чертеж отливки дополняют чертежом плиты со схемой расположения моделей отливки, литниковой системы, фиксирующих стержней и других приспособлений.

Размеры модельных плит и их конструкцию выбирают в зависимости от применяемых формовочных машин, размеров опок и технологии формовки. Последовательность процесса изготовления отливки по чертежу детали приведена на рис. 92.

Глава X

ЧУГУННОЕ ЛИТЬЕ

1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗ РАЗНЫХ ВИДОВ ЧУГУНА

Основная масса фасонных отливок готовится из чугуна. Этому способствует его дешевизна, высокие литейные, антифрикционные и коррозионные свойства, достаточно высокая прочность. Поэтому отливки из чугуна находят широкое применение в различных областях промышленности.

Вес чугунных отливок колеблется от нескольких граммов до нескольких сотен тонн.

Существует несколько видов чугуна: серый, белый, ковкий, высокопрочный и др. (маркировка и свойства чугунов приведены в разделе «Металловедение и термическая обработка»). Из них наибольшее распространение

имеет серый чугун, обладающий хорошими литейными свойствами.

Механические свойства чугуна в отливках зависят не только от содержания в нем различных элементов, но и от ряда других факторов (скорости охлаждения, толщины стенок отливки и т. д.).

Серый чугун имеет примерно следующий состав: 3,4—3,7% С; 2,4—3,0% Si; 0,5—0,8% Mn; 0,4—0,6% P и около 0,1% S.

Модифицированные серые чугуны применяются для отливки паровозных и дизельных цилиндров, блоков автомобильных цилиндров и т. п. Из высокопрочных чугунов отливают различные машиностроительные детали: зубчатые колеса, коленчатые и кулачковые валы, штампы и др.

Для получения высокопрочного чугуна в специальной камере в перегретый до 1400—1500° С жидкий серый чугун в ковше вводят 0,5—1,0% Mg и 0,5—1,0% ферросилиция.

Белый чугун обладает высокой твердостью и хрупкостью и применяется для изготовления отливок с высокой износостойкостью. В основном белый чугун применяется для изготовления ковкого чугуна. Химический состав примерно следующий: 2,3—2,7% С; 0,8—1,2% Si; 0,3—0,5% Mn; 0,05—0,07% Cr, не более 0,1—0,2 P и 0,10% S. Отливки из ковкого чугуна применяют для изготовления деталей автомобилей, тракторов и других машин, испытывающие в процессе работы сложные напряжения и ударные нагрузки. Режимы отжига белого чугуна на ковкий чугун приведены в разделе «Металловедение и термическая обработка».

2. ПЛАВКА ЧУГУНА

Основным плавильным агрегатом для плавки чугуна и получения фасонных отливок является вагранка. Она отличается от других печей более высоким коэффициентом полезного действия, большой производительностью, простой конструкцией. Вагранка (рис. 93)—типичная шахтная печь. Шахта вагранки состоит из стального сварного или клепаного кожуха 8, футерованного шамотным кирпичом 10. Шахта опирается на плиту 19, а последняя — на колонны 20, стоящие на фундаменте.

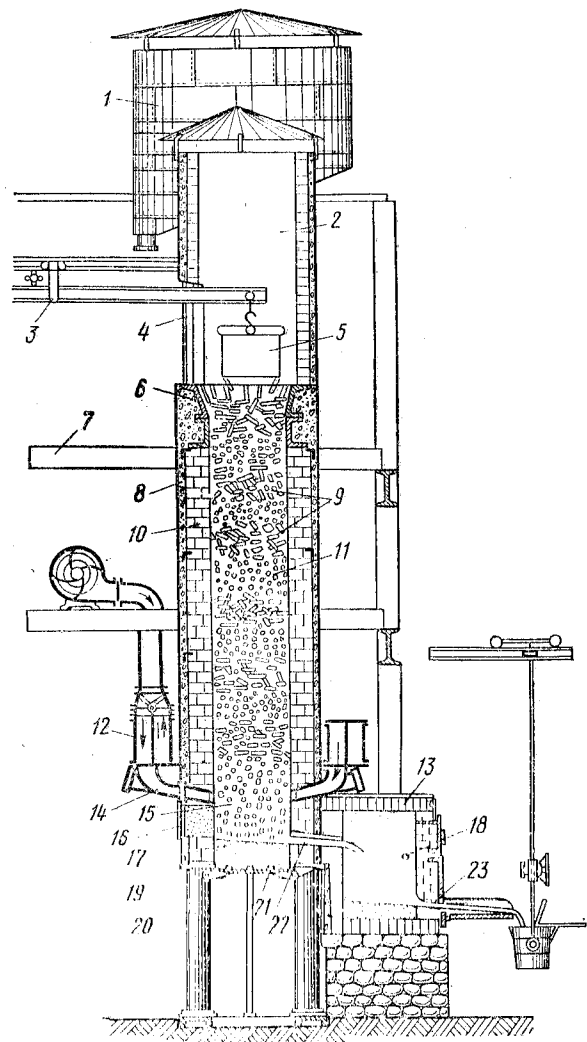


Рис. 93. Вагранка с коническим ковшем

В плите 19 имеется вырез, закрываемый во время плавки откидным дном 21 с одной или двумя подпорками. На это дно набивают формовочной смесью подину 17 через заделываемое окно 16. В нижней части вагранки в горне расположены отверстия, через которые из кольцевого воздуховода 12 по фурмам 14 подается вентилятором воздух, необходимый для сжигания топлива. Загрузка шихтовых материалов 9, которые постепенно измельчаются до величины, показанной позициями 11 и 15, производится бадьей 5 при помощи крюка 3 через окно 4, шахта под которым выложена чугунными кирпичами 6 для предохранения футеровки от ударов при загрузке шихты. Наблюдение за загрузкой материалов производится с колошниковой площадки 7. Заканчивается вагранка трубой 2 с расположенным над ней искрогасителем 1. Расплавленный чугун стекает в горн, откуда по наклонному поду и отверстию 22 стекает в копыльник 13. Выпуск металла производится через отверстие 23, а шлака — через отверстие 18. В некоторых вагранках копыльники отсутствуют и жидкий чугун скапливается в горне, откуда выпускается периодически через летку в ковш.

Процесс плавки чугуна в вагранке состоит в следующем: в вагранку перед началом работы загружают дрова, разжигают их, а затем засыпают слой кокса на 700—800 мм выше уровня фурм (холостая колоша) и включают дутье. После разогрева нижней части вагранки в нее загружают в определенных пропорциях твердую шихту, состоящую из чугунных чушек, чугуниного и стального лома, ферросплавов, кокса и известняка. Шихтовые материалы загружают в вагранку с помощью бадьи отдельными порциями, называемыми колошами, до самого завалочного окна. За счет тепла от сгорания кокса происходит расплавление металлической части шихты. Образовавшийся жидкий чугун стекает в горн, а продукты горения топлива поднимаются вверх, нагревают вышележащие слои шихты и затем удаляются через трубу с искрогасителем из вагранки. Процесс плавки чугуна в вагранке происходит непрерывно, а загрузка шихты и выпуск жидкого чугуна производится периодически.

Металлургические процессы, протекающие в вагранке, являются результатом взаимодействия металла с газовой фазой и топливом. При работе в вагранке можно выделить три характерных зоны: первая — от нижне-

го края загрузочного окна до верхней части холостой колоши (в этой зоне температура постепенно повышается по направлению сверху вниз от 400—500 до 1350—1500°С); вторая — от верхнего края холостой колоши до оси фурм (здесь температура 1350—1700°С); третья — от оси фурм до лещади (в этой зоне температура 1350—1450°С). Обычно в вагранке атмосфера является окислительной ($\text{CO}:\text{CO}_2 < 1$). В первой зоне металл находится в твердом состоянии, здесь он нагревается отходящими газами и при этом окисляется с поверхности. Кроме этого, наличие в ваграночных газах SO_2 приводит к насыщению поверхности металла серой.

В этой же зоне топливо в результате нагрева теряет влагу, а известняк полностью диссоциирует. Во второй зоне металл плавится и, стекая каплями вниз, взаимодействует с газовой фазой и с твердым топливом (коксом) холостой колоши. В этой зоне окисление металла происходит более интенсивно, чем в первой. Одновременно с этим окислы железа раскисляются содержащимися в чугуне примесями.

Во второй, а затем и в третьей зоне (горне) металл, соприкасаясь с коксом, растворяет в себе углерод и серу.

В третьей зоне основным процессом является шлакообразование. Шлак образуется за счет окислов элементов, примесей, вносимых шихтой (песок и др.), кусочков футеровки, флюсов и золы топлива.

В нижней части горна скапливается жидкий металл (чугун), а шлак как более легкий образует верхний слой.

Когда в горне вагранки накапливается нужное количество жидкого чугуна, летку разделяют и металл выпускают в ковш, а из последнего его разливают в литейные формы для получения фасонных отливок. Если вагранка имеет копыльник, то чугун стекает из горна в этот копыльник, а из последнего по мере надобности выпускается в ковш.

Заливку форм производят при температуре чугуна 1250—1400°С и выше. Чем более тонкостенные отливки, тем должна быть выше температура заливаемого чугуна.

Производительность вагранки зависит от ее размеров и колеблется в пределах 1—30 т/ч и более.

В процессе плавки происходит угар отдельных компонентов в следующих процентах: кремния 10—15%; марганца 15—20%; хрома 20—30%; железа 1—1,5%.

Количество серы несколько возрастает (за счет ее содержания в коксе), а содержание фосфора остается без изменения. Углерод немного выгорает, но его потеря компенсируется за счет науглероживания чугуна от кокса.

После окончания плавки открывают дно, остатки неиспользованных материалов вываливаются наружу (в вагонетки) и удаляются на свалку.

Расход литейного кокса 10—12% от веса расплавленного чугуна, а расход известняка, предназначенного для ошлакования золы кокса и окислов примесей, до 6% от массы чугуна.

Для повышения производительности вагранок и температуры выпускаемого чугуна, а также для снижения расхода топлива применяют подогрев (до 400—500°С) дутья за счет использования тепла отходящих газов или теплоты реакции от дожигания окиси углерода (СО), входящей в состав колошниковых (ваграночных) газов. Кроме того, с целью экономии кокса начинают применять коксогозовые вагранки, в которых до 50% кокса заменяют вдуваемый природным газом. В коксогозовых вагранках с подогревом дутья температура выпускаемого чугуна может быть повышена до 1450—1500°С.

Повысить температуру чугуна можно также при вдувании в вагранку воздуха, обогащенного кислородом.

Кроме вагранок, применяют также плавильные агрегаты периодического действия. К ним относятся дуговые и индукционные электропечи. Плавка чугуна в электропечах имеет ряд преимуществ (низкий угар, высокий перегрев и др.), но она не всегда выгодна из-за высокой стоимости электроэнергии.

Глава XI

СТАЛЬНОЕ ЛИТЬЕ

1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Фасонные отливки изготавливаются из углеродистых и легированных сталей (маркировка и свойства сталей приведены в разделе «Металловедение и термическая обработка»).

Литейные свойства сталей, особенно легированных, ниже, чем у чугуна (литейная усадка 2,0—3%). Это может привести к образованию усадочных раковин и трещин в отливках. Для устранения усадочных раковин в формах предусматривают прибыли, питающие жидким металлом массивные части отливок. Сталь заливается в формы при температуре 1520—1600°С (для тонкостенных отливок).

Стальные отливки получают в сырых или сухих формах. Для повышения огнеупорных свойств формовочных смесей в них вводят хромистый кварц, железняк и др., а для увеличения прочности — жидкое стекло. С целью улучшения качества поверхности отливок рабочие полости форм окрашивают противопригарными литейными красками или припыливают противопригарными порошками. Литниковую систему и расположение отливки в форме делают таким, чтобы полость, образованная моделью, заполнялась металлом спокойно, а затвердевание отливки было направленным снизу вверх. При изготовлении отливок небольшого веса формы заливают из обычных ковшей через носок, а при производстве средних и особенно тяжелых отливок заливку ведут из стопорных ковшей. После охлаждения, выбивки и обрубки отливки подвергаются термической обработке (отжигу при температуре 700—900°С в зависимости от содержания углерода). Отжиг производится для снятия внутренних напряжений, измельчения зерна и повышения механических свойств отливок. С целью повышения механических свойств применяют также нормализацию, способствующую, благодаря более быстрому охлаждению, еще большему измельчению структуры. Обычно крупное толстостенное литье из углеродистой стали подвергается отжигу, а мелкое и тонкостенное — нормализации. Что же касается отливок из легированных сталей, то для придания необходимых свойств их, кроме отжига и нормализации, часто подвергают закалке и отпуску.

В зависимости от назначения отливок применяют углеродистую сталь следующего состава, %: 0,1—0,6 С; 0,5—0,8 Мп; 0,13—0,3 Si. Отливки, полученные из такой стали, имеют: предел прочности при растяжении 40—60 кгс/мм², предел текучести 20—30 кгс/мм² и относительное удлинение (при длине образца, равной пятикратной толщине) 10—28%.

Из стали марок 15Л и 25Л изготавливают отливки для сельскохозяйственного машиностроения, автостроения и др., а когда требуется повышенная прочность и износостойкость (станины, шестерни, червяки, шнеки и др.), применяют стали марок 35Л и 45Л, если же требуется высокая твердость — используют сталь марки 55Л.

Легированные стали применяются, когда требуется получить отливки специального назначения (коррозионностойкие, износостойкие, жаростойкие и др.).

2. ПЛАВКА СТАЛИ

Для производства фасонных отливок сталь плавят в электрических (дуговых и индукционных) печах и в конверторах. Основная масса стали (более 90%) плавится в дуговых электропечах. Это объясняется тем, что в электропечах можно плавить различные стали высокого качества и получать сталь с очень высокой температурой (до 2000° С). Последнее очень важно, так как жидкотекучесть, стали хуже, чем у чугуна, а с повышением температуры она повышается, благодаря чему облегчается процесс заполнения формы металлом.

Схемы устройства печей и способы плавки в них стали были рассмотрены в главе III раздела I.

Глава XII

ЦВЕТНОЕ ЛИТЬЕ

1. ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Для производства фасонных отливок наиболее широкое применение получили бронзы и латуни.

Бронзы применяются оловянные и специальные (безоловянные). Из оловянных бронз используют бронзы марок БрОЦС 5-5-5, БрОЦС 6-6-3, БрО10, БрОФ10-1 и др., а из специальных БрАЖ9-4, БрАЖС7-1,7-1,5, БрАЖМц10-3-1,5 и др. Название специальных бронз дается по основному легирующему компоненту: алюминиевая, кремнистая, марганцовистая и т. д.

Оловянные бронзы применяют для изготовления отливок арматуры, зубчатых колес, подшипников, втулок и других деталей. В связи с тем что олово является дефицитным и дорогостоящим металлом, в практике, всюду где представляется возможным, оловянные бронзы заменяют специальными. Эти бронзы используют для фасонного литья таких деталей, как шестерни, втулки, седла клапанов, подшипники и других деталей.

Для изготовления отливок, кроме бронз, применяют специальные латуни (кремнистые, свинцовистые, марганцовистые, алюминиевые и др.) марок: ЛК80-3, ЛС59-1л и др. Эти латуни содержат специальные добавки (Al, Mn, Si, Fe, Pb), улучшающие их литейные, механические и другие свойства, а также обрабатываемость резанием.

Из них изготавливают подшипники, втулки, шестерни, санитарно-техническую арматуру и другие детали. Латуни имеют более низкую температуру плавления и лучшие литейные свойства, чем бронзы. Это позволяет производить из них отливки разными способами: в песчаные формы, кокиль, литьем под давлением и др.

Для приготовления медных сплавов применяют тигельные, дуговые (рис. 94) и индукционные электропечи. Дуговые печи служат для плавки бронз, а индукционные — для плавки латуни. Для предохранения металла от окисления плавку производят под слоем древесного угля. Готовый сплав перед разливкой в формы раскисляют фосфористой медью. В качестве противопригарной добавки в формовочную смесь вводят мазут.

Цинковые сплавы имеют низкую температуру плавления и хорошие литейные свойства. Из них изготавливают небольшие фасонные отливки на машинах для литья под давлением. Для плавки цинковых сплавов применяются главным образом тигельные печи.

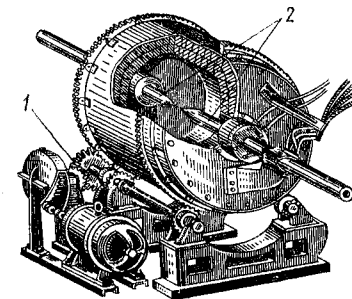


Рис. 94. Дуговая однофазная поворотная электропечь для плавки медных сплавов (бронзы):

1 — механизм поворота; 2 — электроды

2. ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ АНТИФРИКЦИОННЫХ СПЛАВОВ

Из этих сплавов изготавливают подшипники скольжения, вкладыши и втулки. Они мягче, чем опирающиеся на них стальные детали (оси, цапфы, шейка вала). Уменьшение трения достигается особой структурой сплавов, в которых твердые кристаллы расположены в более мягкой основе.

Твердые кристаллы сопротивляются трению, а мягкая часть обеспечивает хорошую прирабатываемость подшипника к валу.

В качестве антифрикционных материалов применяют главным образом баббиты и бронзы.

Баббиты применяются на оловянной и свинцовой основе. Для получения подшипников вкладыши отливают из стали или чугуна и заливают их (при 300—420°С) расплавленным баббитом, который образует внутри вкладыша антифрикционный слой.

Лучшим баббитом на оловянной основе является баббит марки Б83. Однако этот сплав является дорогим, поэтому, где возможно, его заменяют баббитами марок БН.

Оловянистые (БрО10, БрОФ10-1 и др.) свинцовистые (БрОС5-25, БрСН60-2,5 и др.) бронзы применяют для заливки вкладышей наиболее ответственных подшипников.

3. ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Алюминиевые литейные сплавы, применяемые для изготовления фасонных отливок, имеют хорошие технологические и механические свойства, которые изменяются в зависимости от состава сплава, методов литья и термической обработки. Литейные алюминиевые сплавы разделяются на пять групп: 1) на основе Al—Si (силумины — АЛ2, АЛ4, АЛ9); 2) на основе Al—Mg (АЛ8, АЛ13), 3) на основе Al—Cu (АЛ7, АЛ12), 4) на основе Al—Cu—Si (АЛ3, АЛ3В, АЛ6, АЛ10В и др.), 5) на основе Al—Si—Zn—Cu (АЛ16В, АЛ17В) и др.

Сплавы первой группы, содержащие 6—13% Si, характеризуются высокими литейными свойствами (хоро-

шей жидкотекучестью, малой усадкой), высокой пластичностью, достаточной механической прочностью, не образуют горячих трещин.

Сплавы второй группы, содержащие от 4,5 до 11,5% Mg, являются высокопрочными, коррозионностойкими и наиболее легкими.

Сплавы третьей группы, содержащие от 3 до 11% Cu, имеют пониженные литейные и коррозионные свойства, но обладают хорошей износостойкостью.

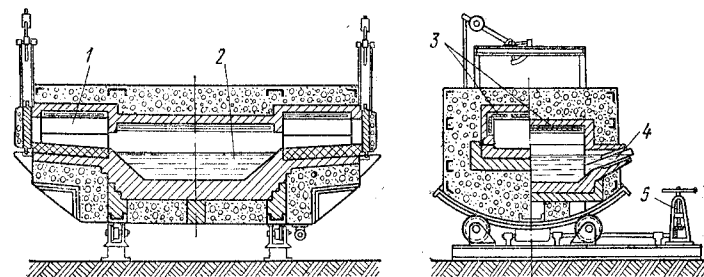


Рис. 95. Камерная электрическая поворотная печь для плавки алюминиевых сплавов:

1 — загрузочные окна; 2 — ванна с расплавленным металлом; 3 — электронагреватели; 4 — летка для выпуска металла; 5 — механизм наклона печи

Сплавы четвертой группы, содержащие от 3 до 6% Si и 1—8% Cu, обладают высокой жидкотекучестью, коррозионной стойкостью и хорошей свариваемостью.

Сплавы пятой группы, содержащие 3—5% Si; 4—7% Zn; 2—4% Cu, отличаются от сплавов других групп повышенной прочностью и жаростойкостью, но имеют худшие литейные свойства (низкую жидкотекучесть и большую усадку).

Из алюминиевых сплавов изготавливают отливки для авиационной и автостроения, для бытовых изделий и пр.

Наиболее широкое применение для плавки алюминиевых сплавов получили тигельные индукционные и камерные электрические поворотные печи (рис. 95).

Плавка сплавов ведется под слоем флюса состава: 50% NaCl; 35% KCl и 15% Na₃AlF₆ или 50% NaCl и 50% KCl. Для измельчения зерна и получения более плотных отливок алюминиевые сплавы (силумины) подвергаются модифицированию. В качестве модификаторов приме-

няют чистый натрий и его соли: 33% NaCl и 67% NaF, или 62,5% NaCl, 25% NaF и 12,5% KCl.

Перед разливкой алюминиевые сплавы рафинируют (очищают) от неметаллических и газовых включений продувкой хлором или путем замешивания флюса (45% NaCl, 40% NaF и 15% Na_3AlF_6). Хлорирование производится в течение 10—15 мин в ковше в специальных камерах при температуре металла 750—770° С. При этом образуется газообразный треххлористый алюминий (AlCl_3), который, выходя из расплава, увлекает за собой другие газы и неметаллические примеси, всплывающие на поверхность, откуда они удаляются.

Готовые алюминиевые сплавы затем заливаются при температуре 720—750° С в формы. Для изготовления отливок из алюминиевых сплавов применяют главным образом литье в кокиль и литье на машинах под давлением. Быстрое охлаждение отливок в металлических формах способствует измельчению структуры и повышению механических свойств.

4. ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Магниевые сплавы имеют более низкие литейные и механические свойства, чем алюминиевые, но зато обладают меньшим удельным весом, благодаря чему широко используются в самолетостроении. Для повышения механических свойств отливки из магневых сплавов подвергаются термической обработке (закалке с последующим старением). По химическому составу эти сплавы условно разделяются на три системы: 1) магний — кремний (марка МЛ1), 2) магний — марганец (марка МЛ2) и 3) магний — алюминий — цинк (марки — МЛ3, МЛ4, МЛ5 и МЛ6). Сплавы марок МЛ1 и МЛ2 имеют низкие литейные свойства и используются для отливок простой формы. Они обладают хорошей герметичностью и свариваемостью.

Лучшими литейными свойствами обладают сплавы марок МЛ4, МЛ5 и МЛ6, отливки из которых находят большое применение для изготовления деталей самолетов, автомобилей, радиоаппаратуры и т. д.

Магниевые сплавы при температурах, близких к плавлению, вследствие сильного окисления, подвержены заго-

ранию. Поэтому при изготовлении из них отливок применяют следующие защитные средства: плавку ведут под слоем флюса, в формовочную смесь добавляют 4—8% фтористых солей (фторприсадка), а в стержневую смесь — борную кислоту и серу (0,25—1%). Входящие в состав смесей компоненты взаимодействуют с магнием и образуют на поверхности отливок плотные защитные пленки, а получающиеся газообразные продукты образуют прослойку между отливкой и формой. Струю металла при заливке его в форму припыливают серным цветом, а термическую обработку ведут в шахтных печах с защитной атмосферой.

Для плавки магневых сплавов применяют специальные тигельные печи с аварийным тиглем. Так как магний почти не растворяет железо, то плавку магневых сплавов производят в стальных тиглях.

5. ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

К достоинствам титановых сплавов относится то, что они легкие и прочные (плотность порядка 4,5 г/см³, предел прочности на растяжение до 150 кгс/мм²). Сплавы титана особенно широко применяются в ракетной и авиационной промышленности.

Наряду с высокой температурой плавления титана (1670° С) он обладает высокой химической активностью, поэтому для плавки титановых сплавов применяют специальные тигельные печи. Плавка и заливка металла производится в защитной атмосфере (как правило в среде аргона).

Б. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТЛИВОК СПЕЦИАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ ЛИТЬЯ

Глава XIII

ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Литьем по выплавляемым моделям называется такой метод литья, при котором полость в огнеупорной оболочковой форме, необходимая для получения отливок, обра-

зуется за счет выплавления моделей, изготовляемых из легкоплавкой смеси.

Технология производства отливок методом литья по выплавляемым моделям имеет много вариантов всех основных операций, а также модельных и формовочных

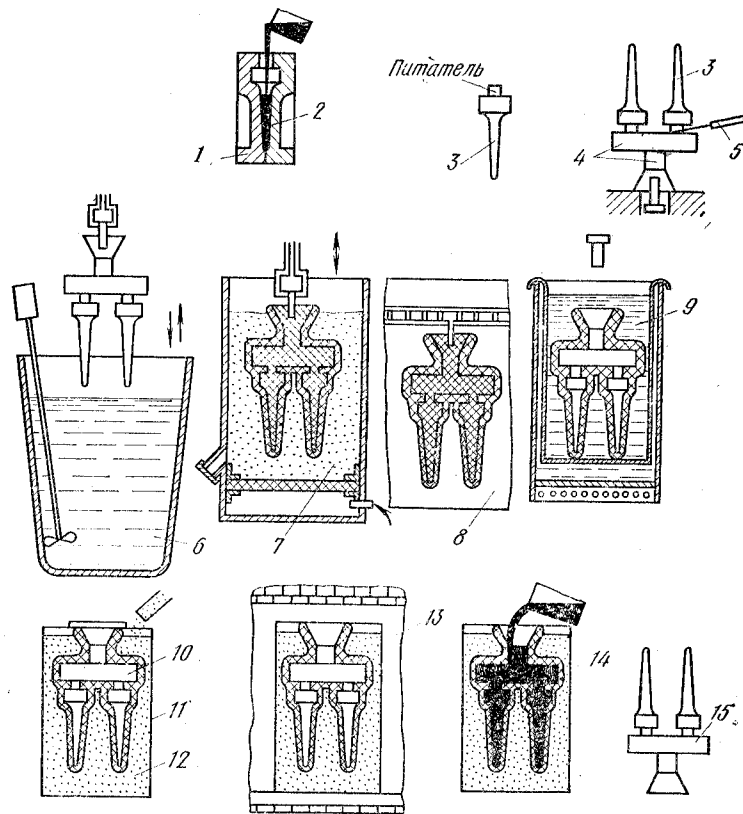


Рис. 96. Схема процесса изготовления отливок по выплавляемым моделям

составов. Ниже приводится один из типовых процессов изготовления отливок (рис. 96). Из легкоплавкого модельного состава (50% парафина и 50% стеарина) в металлической прессформе 1, состоящей из двух частей, изготовляют модели отливок и литниковой системы. Для этого предварительно расплавленный в автоклаве мо-

дельный состав 2 заливают или запрессовывают под давлением 2—3 кгс/см² в собранную прессформу. После затвердевания модельного состава прессформу раскрывают и извлекают из нее модель 3, которая имеет точные размеры. Размеры полости прессформ обычно делают больше соответствующих размеров отливки с учетом двойной усадки — материала модели и металла отливки. Полученные модели собирают в блоки «елки», для чего их присоединяют к литниковой системе 4 с помощью паяльника 5. На полученный блок наносят путем окунания суспензию — жидкое облицовочное покрытие 6, состоящее из 30—40% гидролизованного этилсиликата и 60—70% пылевидного кварца. После этого «елку» обсыпают мелким сухим кварцевым песком 7 и просушивают 8 при комнатной температуре в течение 5—6 ч. Операции окунания, обсыпки и сушки повторяют несколько раз, пока не будет образована на моделях огнеупорная оболочка нужной толщины (2,5—3,0 мм). Затем производят выплавление моделей из оболочки, для чего блоки помещают (литниковой воронкой вниз) в термощкаф с температурой 110—120° С или погружают в горячую воду 9 с температурой 90—95° С. После выплавления моделей и литниковой системы пустотелую огнеупорную оболочковую форму 10 помещают в металлический жакет 11, в который засыпают вокруг оболочки до самой воронки сухой кварцевый песок 12. Подготовленные указанные формы загружают в нагретую до 850—900° С электрическую печь 13, где выдерживаются в течение 3—4 ч. В процессе прокаливания происходит выгорание остатков парафино-стеариновой смеси, огнеупорная оболочка становится твердой, а ее рабочая поверхность — гладкой. Вслед за прокаливанием следует заливка формы предварительно приготовленным расплавленным металлом 14. Затем после затвердевания металла и охлаждения отливок 15 их из онок выбивают и керамическую оболочку с отливок отбивают. Если изготавливают детали сложной конфигурации, то для удаления керамической оболочки их подвергают обработке при 120° С в ванне с щелочным раствором с последующей промывкой в горячей воде. Освобожденные от оболочки блоки отливок 15 подвергаются контролю, после чего отрезается литниковая система и производится зачистка деталей.

В настоящее время все рассмотренные процессы, при-

меняемые при изготовлении отливок методом литья по выплавляемым моделям, на многих заводах механизированы и автоматизированы.

К основным достоинствам метода литья по выплавляемым моделям относятся: высокая точность (класс 5—7) и хорошая чистота поверхности (класс 5—6) получаемых отливок (отливки не имеют швов); возможность изготовления сложных и тонкостенных отливок (с толщиной стенок до 0,5—0,3 мм); возможность изготовления отливок из разных сплавов массой от нескольких граммов до 100 кг и более.

Существенными недостатками этого метода являются: длительный технологический процесс (более двух суток); высокая стоимость отливок; форма (огнеупорная оболочка) служит один раз.

Этот метод применяется главным образом для получения мелких сложных отливок, особенно из труднообрабатываемых сплавов, в серийном и массовом производстве (изготовление режущего инструмента и пр.). В этом случае высокая стоимость отливок вполне окупается почти полным устранением трудоемкой механической обработки.

Глава XIV

ЛИТЬЕ В ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ

Литьем в оболочковые формы называется такой метод литья, при котором отливки получают в форме, состоящей из двух песчано-смоляных оболочек. Изготовление оболочковых форм и стержней производится из мелкозернистого кварцевого песка с добавкой в качестве связующего вещества искусственной терморезистивной смолы. Характерной особенностью таких смол является их способность при определенной температуре необратимо твердеть. При нагревании до 140—160°С эти смолы расплавляются, превращаясь в клейкую массу, и обволакивают зерна кварцевого песка, а затем при повышении температуры до 250—300°С уже через несколько секунд затвердевают. Этим свойством смолы и пользуются, чтобы получить твердую оболочковую форму. При повышении температуры более 600°С (при заливке металла в

форму) смола, не расплавляясь, сгорает, образуя в оболочке поры, облегчающие выход газам. Обычно в качестве связующего вещества применяется смола ПК-104 (Фенолформальдегидная). В составе формовочных смесей указанной смолы содержится 6—8%, а в стержневых 4—5%. Для улучшения смешиваемости смолы с песком и уменьшения пылевыведения в состав смесей обычно добавляют керосин или жидкую смесь, состоящую из 50% раствора жидкого бакелита в фурфуроле. Для изготовления оболочек применяют обычно чугунные модельные плиты, на которых укрепляют половники моделей, модели литниковой системы, толкатели и фиксаторы. Точность сборки верхней оболочки с нижней обеспечивается устройствами на плите фиксаторами типа выступ — впадина, когда на одной плите изготавливаются оболочки с впадинами, а на другой — с выступами.

Нанесение сухой песчано-смоляной смеси на модельную оснастку может производиться с помощью поворотного бункера, рамки или пескодувным способом.

Ниже приводится наиболее часто применяющийся технологический процесс изготовления оболочек с помощью поворотного бункера (рис. 97). Сущность этого способа заключается в том, что в поворотный бункер 2 засыпают песчано-смоляную смесь 3, после чего на верхнюю открытую часть бункера крепят нагретую (220—260°С) и обработанную разделительным составом плиту с моделью 1. После этого бункер 1 поворачивают на 180°, при этом песчано-смоляная смесь падает и покрывает нагретую модельную оснастку. Для формирования оболочки необходимой толщины (8—10 мм) модельная оснастка находится под смесью в течение 20—25 с, после чего бункер вместе с плитой возвращается в исходное положение. При повороте избыток формовочной смеси падает на дно бункера, а плита с моделью вместе со сформированной оболочкой 4 снимается с бункера и загружается в электронагреватель, где выдерживается при температуре 260—300°С в течение 2—3 мин для окончательного отверждения оболочки. Твердую оболочку (полуформу) 5 снимают с модели при помощи толкателей.

¹ Поворотные бункеры современных машин снабжены вибраторами, позволяющими уплотнить смесь в процессе отверждения, что приводит к повышению ее теплопроводности и уменьшению потребного времени для цикла формирования оболочки.

Оболочковые стержни изготавливаются аналогично процессу получения полуформ. В подогретый и смазанный стержневой ящик 6 (рис. 97, б) насыпают песчано-смоляную смесь 7, через 15—20 с после образования оболочки высыпают незатвердевшую сыпучую смесь. Пустотелый стержень 8 твердеет при дальнейшем нагреве ящика и затем удаляется из него.

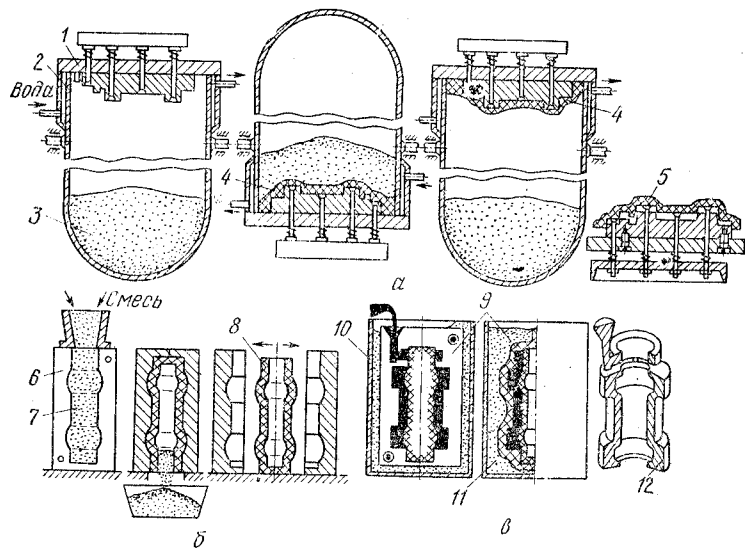


Рис. 97. Схема процесса изготовления отливок методом литья в оболочковые формы

Оболочковые полуформы собирают, склеивая быстро-твердеющим термореактивным клеем, предварительно установив в них стержни. Готовые оболочковые формы 9 (рис. 97, в) устанавливают в металлические ящики 10, засыпают чугуниной дробью или песком 11, заливают жидким металлом и получают отливку 12.

После затвердевания металла и охлаждения отливки оболочковую форму разрушают.

Удаление литниковой системы и дальнейшая отделка отливок 12 производится обычными способами и зависит от применяемых сплавов.

По сравнению с литьем в обычные песчаные формы

этот метод литья имеет следующие основные достоинства:

- 1) отливки получаются с более точными размерами (класс 7—9), лучшей чистотой поверхности (класс 3—6) и меньшими допусками на механическую обработку;
- 2) существенно уменьшается трудоемкость изготовления отливок (выбивки, очистки и механической обработки и т. д.);
- 3) сокращается расход формовочных материалов и количество металла благодаря меньшим размерам литниковых каналов;
- 4) снижается брак отливок, особенно по засорам.

К основным недостаткам литья в оболочковые формы относятся следующие: оболочковая форма служит один раз; высокая стоимость формовочной смеси, модельной оснастки и оборудования; выделение вредных газов при нагревании оболочек и заливке металла (требуются вентиляционные устройства).

Метод литья в оболочковые формы применяется для изготовления сравнительно небольших отливок из разных сплавов в серийном и массовом производствах, в тех случаях, когда повышенные затраты на смесь, оснастку и оборудование компенсируются снижением объема механической обработки отливок, повышением производительности труда и пр.

Этим методом литья изготавливаются коленчатые валы автомобильных двигателей из высокопрочного чугуна, чугунные ребристые цилиндры для мотоциклетных двигателей и многие другие детали.

Глава XV

ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

Литьем в кокиль называется такой метод литья, когда жидкий металл заполняет рабочую полость металлической формы под действием собственной силы тяжести.

Обычно кокиль состоит из двух половин и имеет вертикальный или горизонтальный разъем. Лучшим материалом для изготовления кокилей является серый чугун, который удовлетворяет основным требованиям металлической формы — достаточной теплопроводностью, хоро-

шо противостоит разгару и короблению. Примерный состав такого чугуна: 3,4—3,6% С; 1,8—2,2% Si; 0,9—1,0% Mn; до 0,15% P и 0,06—0,08% S. Значительно реже кокили изготавливают из стали и иногда из цветных сплавов.

Стойкость чугунных кокилей при условии правильной эксплуатации и в зависимости от массы отливок для разных сплавов составляет число отливок:

Для алюминиевых	До 50 000
Для медных	3000—10 000
Для стальных и чугунных	100—5000

Внутренние полости (отверстия) в отливках получают за счет применения металлических стержней, изготовляемых из сталей марок У7, У10 и 30ХГСА. Иногда для образования большой сложности полостей в отливках вместо металлических стержней применяют песчаные.

Обычно кокили монтируются на кокильные станки с механическим, пневматическим или гидравлическим приводом, предназначенным для закрытия и раскрытия металлической формы. В этом случае одна из половин кокиля является неподвижной, а другая передвигается с помощью привода. Отливка благодаря специально сделанному меньшему конусам задерживается в подвижной половине кокиля и при открывании последнего удаляется толкателями, проходящими через ее стенку. Если применяются металлические стержни, то они удаляются из отливки сразу после ее затвердевания (до раскрытия кокиля) с помощью различных механизмов. Поскольку металлические стержни неподатливы, то в результате их расширения при нагревании и усадке металла они прочно зажимаются в теле отливки и для их извлечения требуются значительные усилия, несмотря на то, что они делаются на конус.

На рабочую поверхность кокиля наносят теплоизоляционный слой краски. Краска позволяет увеличить срок службы кокиля, выровнять температурные условия кристаллизации различных частей отливки, воспринимает на себя тепловой удар струи металла, устраняет его приваривание к стенкам формы, облегчает удаление отливки из кокиля, а при изготовлении чугунных отливок устраняет отбел. Краску наносят из пульверизатора на

нагретый до 150—200° С кокиль. На полости, образующие литниковую чашу, коллекторы и особенно прибыли, наносят более толстые слои краски, чем на полость, образующую отливку, чтобы металл в них застывал в последнюю очередь и питал отливку в процессе ее кристаллизации. Это способствует устранению усадочных раковин в отливках. При производстве отливок из легких сплавов в состав красок входят: мел, окись цинка, тальк, графит, жидкое стекло и вода; для медных сплавов применяются мазут, керосин с сажей и др., для чугунного

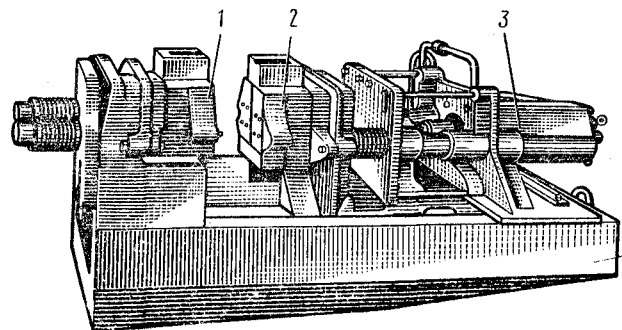


Рис. 98. Пневматический станок с вертикальным разъемом кокиля:

1 — неподвижная половина кокиля; 2 — подвижная половина кокиля; 3 — пневмоцилиндр; 4 — станина

и стального литья — огнеупорная обмазка с нанесенной на нее сажей или ацетиленовой копоти и др.

После окраски кокиль вновь нагревается до температуры 250—300° С, так как заливка в холодный кокиль может привести к выбросу металла. Указанная температура кокиля поддерживается в течение всего процесса работы.

На рис. 98 показана конструкция пневматического кокильного станка, получившая применение на ряде заводов.

Технологический процесс кокильного литья состоит из следующих основных операций: подготовка кокиля к заливке (окраска, подогрев и закрытие), заливка жидкого металла в кокиль (мерным ковшом), охлаждение отливки до ее затвердевания, удаление из отливки метал-

лических стержней, раскрытие кокиля и удаление из него отливки (автоматически с помощью толкателей), удаление литников и зачистка отливки.

По сравнению с литьем в песчаные формы метод кокильного литья обладает следующими основными достоинствами: металлическая форма используется многократно; более высокая производительность труда (в 3—4 раза); лучшая размерная точность и чистота поверхности отливок; меньшая трудоемкость изготовления отливок и их последующей механической обработки (на 40—60%); более высокая плотность и механические свойства отливок за счет высокой скорости охлаждения; устраняется применение формовочных и стержневых смесей и, следовательно, потребность в оборудовании для их изготовления; снижается брак отливок (по засорам, пригару, геометрии и другим видам) примерно на 30—40%; резко уменьшаются грузопотоки и сокращаются площади производственных и складских помещений; меньшая себестоимость отливок (на 25—30%); лучшие санитарно-гигиенические условия труда.

К недостаткам метода кокильного литья относятся: значительная стоимость кокилей, особенно для производства фасонных отливок со сложными внешними и внутренними очертаниями; трудность получения сложных фасонных, особенно тонкостенных отливок, из-за затрудненной усадки металла, приводящей к образованию трещин; трудность получения отливок из серого чугуна, особенно тонкостенных, без отблесенного плохо обрабатываемого поверхностного слоя.

Область применения кокильного литья очень обширна, особенно для изготовления отливок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов. В крупносерийном и массовом производствах применяют кокильные литейные машины, работа которых механизирована и даже автоматизирована.

Глава XVI

ЛИТЬЕ НА МАШИНАХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Литьем под давлением называется такой метод литья, когда жидкий металл заполняет полость металлической формы (прессформы) под принудительным большим дав-

лением (удельное давление на металл при прессовании составляет около 1000 кгс/см² и более).

Отливка деталей производится на специальных машинах с холодной или горячей камерами прессования.

Из сплавов наибольшее применение получили: алюминиевые (марки АЛ2, АЛ3, АЛ9), магниевые (марки МЛ5, МЛ6), медные — латуни (марки ЛС59-1, ЛК80-3Л, ЛМцЖ55-3-1) и цинковые, различных марок. В последнее время этот метод литья начали применять и для изготовления отливок из стали.

В настоящее время имеют наибольшее применение три типа машин литья под давлением (рис. 99): с холодной горизонтальной камерой прессования, с холодной вертикальной камерой прессования и с горячей вертикальной камерой прессования.

Машины первого типа (рис. 99, а) имеют прессформу, состоящую из неподвижной 1 и подвижной 2 половин. Первая из них прикреплена к неподвижной плите 3 машины, а подвижная — к подвижной плите 4. Каналы 5 служат для водяного охлаждения. Стержни 6, предназначенные для образования полостей и отверстий в отливках, устраиваются, как правило, в подвижной половине. Удаление отливки из формы осуществляется выталкивателями 7, жестко закрепленными в плите выталкивателей 8.

После закрытия прессформы с помощью запорного механизма машины в цилиндр 9, называемый камерой прессования, через отверстие 10 заливают порцию металла и включают механизм прессования. При этом плунжер 11, передвигаясь, перекрывает заливочное отверстие и запрессовывает металл через литниковую щель в полость прессформы. После затвердевания металла включают механизм раскрытия прессформы, который отводит подвижную половину вместе с отливкой от неподвижной. При отводе подвижной половины формы движется и плунжер, который выталкивает прессостаток 12. В это время плита толкателей также движется до упора 13 (рис. 99, а), который останавливает ее, а прессформа продолжает перемещаться. Выталкиватели удаляют отливку 14 со стержня 6 и она падает на приемное устройство (в ящик или на транспортер). Затем прессформу обдувают сжатым воздухом, смазывают рабочую поверхность, закрывают и процесс повторяется.

Машины второго типа (рис. 99, б) имеют прессформу аналогичного устройства с машинами первого типа. Машина работает следующим образом. После закрытия прессформы в смазанную вертикальную камеру прессо-

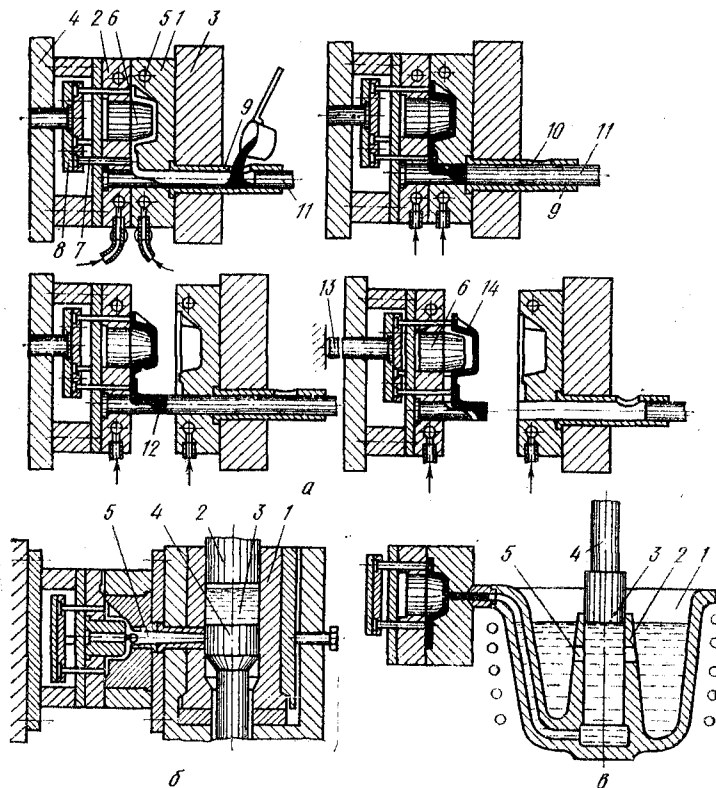


Рис. 99. Схемы процессов литья под давлением основных типов применяемых машин:

а — с холодной горизонтальной камерой давления; б — с холодной вертикальной камерой давления; в — с горячей вертикальной камерой давления

вания 1 заливают мерным ковшом определенную порцию металла 3 и включают механизм прессования. Двигаясь вниз, плунжер 2 давит на металл и перемещает вниз пята 4, в результате чего открывается отверстие 5, через которое сплав заполняет полость прессформы. Затем плунжер и пята поднимаются. Пята поднимается специаль-

ным механизмом и при своем движении вверх отрезает литник и поднимает прессостаток. Все остальные операции аналогичны операциям, рассмотренным в машинах первого типа.

Машины первого типа на 10—20% производительнее, чем машины с вертикальной камерой прессования, проще в обслуживании и поэтому получают все большее распространение.

Машины третьего типа (рис. 99, в) имеют печь с тиглем, в котором находится жидкий сплав с заданной температурой. Камера прессования 2 составляет одно целое с чугунным тиглем 1, находящимся в печи. Когда плунжер 3 поднят, металл через отверстие 5 заполняет камеру 2. Затем при движении плунжера вниз он перекрывает отверстие 5, давит на металл, который заполняет полость прессформы.

Машины первых двух типов (с холодной камерой давления) применяют для изготовления отливок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов, а третьего типа (с горячей камерой прессования) для литья деталей из цинковых сплавов.

Прессформы (рис. 100) независимо от типа машин, на которые они устанавливаются, по своему устройству сходны между собой. Они состоят из следующих основных частей: подвижной (слева) и неподвижной половины 1; плит 2, к которым они крепятся, металлических стержней 3, механизма выталкивания отливок с толкателями 4 и литниковой втулки 5. Принято неподвижную половину формы, полость которой оформляет наружную поверхность отливки, называть матрицей, а подвижную, оформляющую внутреннее очертание отливки — пуансоном.

Прессформы для больших и сложных отливок изготовляются односторонними, а при производстве мелких — многосторонними.

Для точного совмещения половин прессформы имеют направляющие колонки. Форма изготавливается таким образом, чтобы при раскрытии ее отливка всегда оставалась на подвижной половине. В этом случае облегчается удаление отливки с помощью толкателей. Для формирования отдельных фасонных участков внешней поверхности отливок в матрицах делают вставки б. Стержни 3 служат для образования в отливках отверстий. Отверстия, направленные перпендикулярно к плос-

кости разъема прессформы, обычно получают за счет неподвижных стержней, устроенных в подвижной матрице. Боковые отверстия образуются подвижными стержнями, паправленными параллельно плоскости разъема формы, либо под некоторым углом к этой плоскости. Передвижение этих стержней осуществляется с помощью специальных механизмов. Пуансон и неподвижная мат-

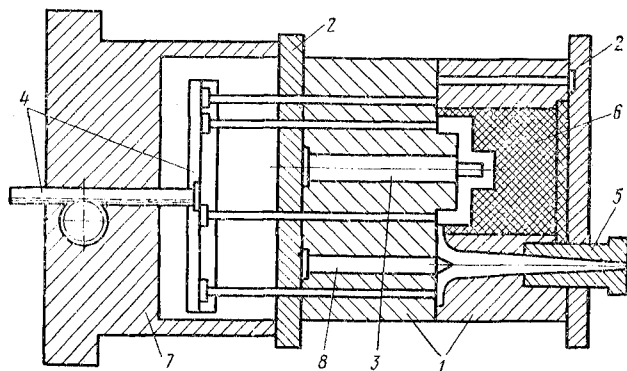


Рис. 100. Схема устройства прессформы для литья под давлением

рица вместе со вставками, стержнями и литниковой втулкой монтируются на специальных плитах 2. Плиту с пуансоном укрепляют на специальной подставке (основании) 7, где размещаются также сборные плиты для стержней, толкателей и механизмы для их перемещения. Плиту с неподвижной матрицей закрепляют на столе машины.

Наибольший нагрев прессформы происходит в месте расположения ходового литника, который изготавливают в сменной литниковой втулке. С целью предохранения пуансона от разрушения в месте поступления расплавленного металла, а также для изменения направления струи металла и создания плавного перехода ее от круглого сечения ходового литника к плоским сечениям питателей в пуансоне устанавливается сменный рассекатель 8.

Во избежание перегрева прессформы в процессе работы ее необходимо охлаждать. Для этого в форме высверливаются каналы, по которым циркулирует проточная вода.

Прессформы делают из стали. Детали, непосредственно соприкасающиеся с расплавленным металлом (пуансон, матрица, стержни, литниковые втулки, рассекатели), изготовляют из легированных жаропрочных сталей марок 3Х2В8, 3ХВ8, 5ХНМ, Х12М и др.

При производстве стальных отливок лучшие результаты показали формы, сделанные из меднокобальтобериллиевого сплава. Их стойкость составляла около 2000 запрессовок против 200—300 запрессовок в формы из сталей марки 3Х2В8.

Для повышения твердости формы подвергают закалке с последующим высокотемпературным отпуском. С целью повышения срока службы формы ее перед началом работы нагревают (газовыми горелками или электронагревателем) до температуры 150—200°С, а в процессе литья стараются не перегревать и поддерживать в пределах: для цинковых сплавов 180—250°С; для алюминиевых и магниевых сплавов 200—300°С и для медных 300—400°С. Кроме этого, для повышения стойкости прессформ, устранения приваривания к ним отливок, уменьшения теплопередачи и трения на рабочую полость их перед началом работы, а затем периодически в процессе литья наносится смазка. Наполнительный стакан, нижний (пятка) и прессующий поршни, а также стержни, образующие отверстие в отливках, обычно смазывают после каждой запрессовки металла в формы. Наибольшее применение в качестве смазки получили: при литье цинковых сплавов — моторные масла, при литье алюминиевых и магниевых сплавов — смесь парафина, воска, вазелина и графита, при литье из медных сплавов — олифа с графитом.

При правильной эксплуатации срок службы (стойкость) прессформ в зависимости от сложности отливок и сплавов может достигать следующего количества запрессовок, тыс: для цинковых 300—500; для магниевых 80—100; для алюминиевых 30—50 и для медных 5—20.

Для удаления воздуха из полости формы в процессе заполнения ее металлом в ней делают щелевидные воздухоотводные каналы толщиной 0,05—0,1 мм и шириной 5—25 мм. Кроме этого, при изготовлении больших отливок в форме делают промывники, представляющие собой щелевидные каналы глубиной 4 мм, шириной 15 мм и длиной 20 мм и более, сделанные на разъеме формы по

сторонам ее рабочей полости. Они соединяются с полостью формы капалами толщиной 1—2 мм и с атмосферой обычными воздухоотводными каналами. Промывники предназначаются для выхода в них воздуха из рабочей полости формы, а также для перегонки в них первых порций металла с воздушными, шлаковыми и окисными включениями. В последнее время для борьбы с воздушной пористостью отливок начинает применяться вакуумирование полости формы (отсос воздуха) перед запрессовкой в нее металла.

Основными преимуществами метода литья под давлением по сравнению с ранее рассмотренными методами литья являются следующие:

очень высокая производительность — небольшие полостью автоматизированные машины имеют до 1400—1800 циклов в час, более крупные полуавтоматические машины до 400 циклов в час с прессформами в 6 гнезд и больше (США, Англия);

большая точность размеров (класс 4—5 точности) и высокая чистота поверхности получаемых отливок, почти не требующих последующей механической обработки.

Можно получать очень сложные по конфигурации отливки, в том числе армированные стальными и другими деталями; можно изготавливать отливки с толщиной стенки до 0,5 мм и отверстия диаметром до 1 мм.

Переход на литье под давлением снижает трудоемкость изготовления отливок в 10—12 раз в литейных и в 5—8 раз в механических цехах.

К недостаткам этого метода литья относятся следующие: высокая стоимость прессформ и машин (стоимость прессформы в 3—5 раз выше стоимости кокиля); образование пористости и раковин в массивных частях отливок, поэтому отливки, отлитые под давлением, нельзя термически обрабатывать; затруднительно изготовление отливок из черных металлов; ограничены размеры и вес отливок (от нескольких граммов до нескольких десятков килограммов).

Область применения литья под давлением очень обширна. В настоящее время этим методом литья производят самые разнообразные отливки, в основном из сплавов цветных металлов.

Литье под давлением применяется в серийном и массовом производствах. С увеличением партии однотипных деталей снижается их стоимость, тем выгоднее применять этот метод литья.

Глава XVII

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

Центробежным литьем называется такой метод литья, когда жидкий металл заполняет полость формы под действием центробежной силы. Этот метод заключается в том, что жидкий металл, залитый во вращающуюся форму, под действием центробежной силы отбрасывается к стенке, растекается по ней и, затвердев, образует пустотелую отливку. Охлаждение и кристаллизация залитого в форму металла начинается от стенки теплопроводной металлической формы и заканчивается на внутренней свободной поверхности отливки. Такая направленная кристаллизация отливки от наружной поверхности к внутренней обеспечивает получение плотных отливок, свободных от неметаллических включений (шлаков, окислов, газов), которые оттесняются более тяжелым металлом к внутренней поверхности отливки и удаляются вместе с припуском при механической обработке.

Величина центробежной силы при прочих равных условиях зависит от числа оборотов формы в единицу времени. Небольшая скорость вращения формы не обеспечивает хорошего качества отливки с геометрической правильной свободной поверхностью, а очень высокая скорость приводит к образованию ряда дефектов в отливках: трещин на наружной поверхности, ликвации и т. д.

В зависимости от положения оси вращения формы применяемые в промышленности центробежные машины разделяются на две основные группы (рис. 101): 1) машины с горизонтальной осью вращения; 2) машины с вертикальной осью вращения.

Машины с горизонтальной осью вращения применяются двух типов: шпиндельные, когда сменная чугунная или стальная форма крепится на конце получающего

вращение от электромотора шпинделя, и роликовые, когда форма (изложница) получает вращение от роликов, на которых она установлена. Машины первого типа используются для производства небольших коротких отливок массой примерно до 100 кг, а машины второго

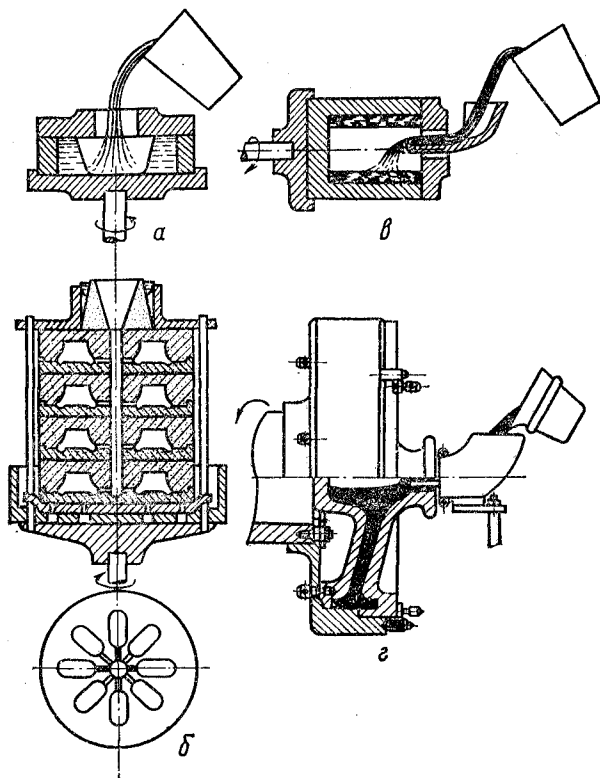


Рис. 101. Схемы центробежного метода литья на машинах с вертикальной осью вращения в металлические формы (а) и в песчаные формы (б) и на машинах с горизонтальной осью вращения в металлические формы (в и г)

типа — для более тяжелых отливок. При этом для изготовления длинных труб применяются длинные перемещающиеся в процессе литья заливочные желоба, позволяющие равномерно распределить металл по длине изложницы, либо сама машина перемещается при помощи катков, а желоб остается неподвижен.

В последние годы получили распространение установки конвейерного типа для центробежного литья чугуновых труб. На этих установках на разных позициях одновременно производится несколько операций: заливка металла, удаление готовых труб из формы, охлаждение и подготовка изложниц к заливке.

Формы (изложницы) для центробежного литья изготавливаются из чугуна или специальных жаропрочных сталей.

Для повышения качества отливок и увеличения срока службы форм, последние предварительно подогревают и на их рабочую поверхность, соприкасающуюся с расплавленным металлом, наносят защитные покрытия. Эти покрытия служат также для предупреждения отбела при производстве чугуновых отливок. Температура подогрева форм колеблется в пределах: 150—300° С.

В центробежных машинах с вертикальной осью вращения на залитый в форму металл действуют две силы — центробежная и сила тяжести. Это приводит к тому, что внутренняя поверхность вращающегося металла принимает вид параболоида вращения, вследствие чего верхняя часть стенки отливки получается тоньше нижней. Это обстоятельство ограничивает область применения машин с вертикальной осью вращения. Их используют преимущественно для изготовления отливок, диаметр которых значительно больше высоты.

Составы красок применяются те же, что и при литье в кокиль. Во избежание перегрева формы во время работы ее охлаждают водой или воздухом.

Технологический процесс центробежного литья на машине с горизонтальной осью вращения состоит из следующих основных операций: подготовка формы к заливке (окраска, подогрев и сборка — закрытие), пуск машины (включение электродвигателя), заливка жидкого металла во вращающуюся с оптимальным числом оборотов форму (мерным ковшом через заливочный желоб), остановка машины (после полного затвердевания металла), раскрытие формы (после прекращения ее вращения), удаление из формы отливки (автоматически толкателем или вручную с помощью разводных клещей), зачистка полученной отливки.

Температура заливаемого в форму жидкого металла должна быть на 100—150°С выше температуры ликвидуса.

Метод центробежного литья получил широкое применение: 1) для производства длинных тонкостенных чугуновых труб (канализационных, водопроводных, газопроводных и нефтеперегонных); 2) для изготовления стальных стволов орудий, стальных и из цветных сплавов гильз, предназначенных для дальнейшей прокатки в цельнотянутые трубы; 3) для производства втулок, обечаек для поршневых колец, венцов, зубчатых колес, гаек, колец и многих других изделий.

Кроме этого, в заграничной практике известно применение центробежного литья для получения очень крупных полых слитков массой до 45 т, из которых изготавливают барабаны котлов высокого давления.

Большое значение имеет центробежное литье для изготовления отливок с двухслойными (биметаллическими) стенками из разных металлов. В этом случае сплавы готовят в разных печах и затем заливают в одну и ту же форму в предусмотренной очередности один за другим через небольшой промежуток времени.

Этим методом отливают прокатные валки из белого и серого чугуна, валки из нержавеющей стали и серого чугуна, втулки из стали и чугуна, из стали и бронзы (подшипниковые втулки), трубы из углеродистой и нержавеющей сталей и многие другие изделия.

IV РАЗДЕЛ

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Общие сведения

Обработка металлов давлением занимает важное место в промышленности. Около 90% выплавляемой стали, 55% цветных металлов и их сплавов, пластмассы и другие материалы подвергают обработке давлением.

Обработка металлов давлением является высокопроизводительным процессом, позволяющим получать изделия с весьма точными размерами, хорошей поверхностью, малыми отходами металла и с более высокими механическими свойствами по сравнению с отливками. Около 75% выплавляемой стали подвергается прокатке для получения рельсов, балок, труб, листов, проволоки и другого сортамента и порядка 15% перерабатывается свободной ковкой, штамповкой, волочением, прессованием.

Штампованные и кованые детали широко применяются при изготовлении автомобилей, тракторов, станков, танков, самолетов, ракет, тепловозов, а также для производства предметов широкого потребления.

Обработка металлов давлением является высокоэкономичным процессом. Так, например, во время деформирования заготовки при изготовлении изделий заданной формы происходит перераспределение массы металла в штампе без образования отходов, в то время как при обработке резанием получение детали необходимой формы связано с удалением части металла в стружку. Процесс получения деталей резанием на сегодняшний день не может считаться рациональным. Поэтому более перспективными являются процессы безотходного формирования деталей, к которым относится обработка металлов давлением.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПОНЯТИЯ О ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Обработкой давлением называют процесс получения изделий, основанный на использовании пластических свойств металлов и их сплавов. Под пластичностью по-

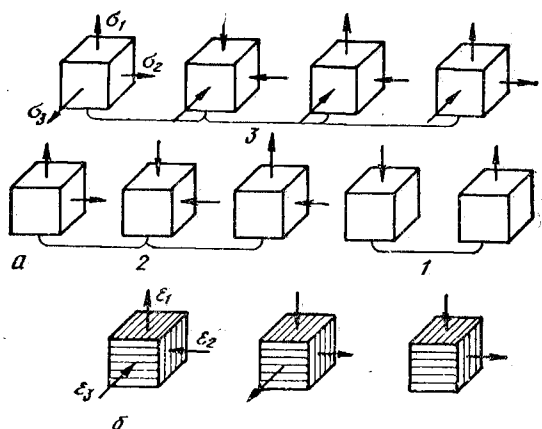


Рис. 102. Напряженное (а) и деформированное (б) состояния:

1, 2, 3 — соответственно линейные, плоские и объемные напряжения

нимают способность металла изменять при давлении свою форму (деформироваться) без разрушения. Полученная новая форма сохраняется после снятия нагрузки.

При обработке давлением наряду с изменением формы изменяется строение исходного металла (сплава) и его физико-химические и механические свойства.

Напряженное состояние в точке или в некотором объеме тела принято характеризовать схемой главных напряжений, т. е. нормальных напряжений, действующих на трех взаимно перпендикулярных площадках, на которых

касательные напряжения отсутствуют. Деформированное состояние в точке или в некотором объеме тела характеризуется схемой главных деформаций, возникающих в направлении главных осей под влиянием внешних сил. Всего имеется девять схем главных напряжений: две линейные, три плоские и четыре объемные (рис. 102). Однако при обработке металлов давлением наиболее часто встречаются две схемы главных напряжений: объемное трехосное сжатие, которое имеет место при прокатке, прессовании, объемной штамповке и ковке, а также объемное сжатие с одним растягивающим напряжением (при волочении и листовой штамповке). Схема главных деформаций с одной деформацией растяжения встречается при волочении и прессовании, с двумя деформациями — при прокатке и объемной штамповке; двухосная схема деформации встречается при прокатке широкой полосы и на некоторых этапах листовой штамповки.

Наилучшие условия для пластической деформации наблюдаются при объемной схеме с двумя деформациями сжатия и наилучшие — при объемной схеме с двумя деформациями растяжения. Следовательно, чем меньшую роль в схемах главных деформаций играют растягивающие деформации, тем большую способность проявляет металл к пластической деформации.

Максимальная главная деформация определяет ориентировку (текстуру) и форму зерен металла. При конструировании деталей и разработке технологии их изготовления необходимо учитывать направление волокон, влияющих на механические свойства изделий. Наиболее высокое качество деталь будет иметь в тех случаях, когда максимальные нормальные напряжения (сжатие, растяжение) действуют вдоль волокон, а касательные (срез, сдвиг) — поперек волокон.

Применяемые в промышленности металлы и сплавы имеют поликристаллическое строение, т. е. состоят из большого числа прочно сросшихся один с другим кристаллов неправильной формы, называемых кристаллитами или зернами. При обработке давлением заготовок происходит пластическая деформация отдельных зерен металла и их относительное смещение. Эта деформация сопровождается раздроблением зерен и их удлинением, в результате чего металл приобретает мелкозернистую строчечную структуру (рис. 103). При нагреве такого де-

формированного металла до температуры около $0,4 T_{пл}$ в нем происходит рекристаллизация — процесс зарождения и роста новых равноосных зерен с неискаженной кристаллической структурой. При этом остаточные напряжения снимаются, восстанавливаются исходные свойства металла и полностью устраняется упрочнение, а волокнистое строение сохраняется. Установлено, что прочность и ударная вязкость металла, имеющего волокнистое строение, вдоль волокон выше, чем поперек волокон, и это свойство используется при изготовлении

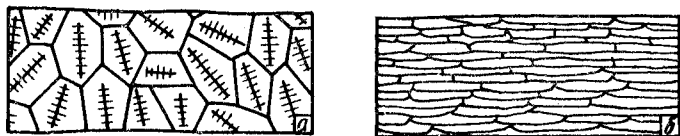


Рис. 103. Микроструктура литой (а) и деформированной (б) стали

деталей. Заготовку деформируют так, чтобы направление волокон совпадало с направлением максимальных растягивающих напряжений, возникающих в детали, которая будет из нее изготовлена. Причем волокна металла не должны пересекаться, а должны огибать контур изделия.

Механические свойства после горячей обработки давлением литого металла значительно повышаются. Это повышение прочности и пластичности металла происходит главным образом за счет образования мелких зерен взамен дендритов литого металла, а также за счет заварки усадочных пустот и рыхлости, образующихся в слитке в процессе кристаллизации жидкого металла.

2. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

К способам обработки металлов давлением относят прокатку, волочение, прессование, ковку и штамповку.

Обработке давлением подвергают слитки, сортовой прокат и листы, изготовленные из стали, алюминиевых, магниевых, медных и других сплавов.

Прокатку, волочение и прессование обычно применяют на металлургических заводах. Прокаткой изготавливают листы, прутки, различные профили и трубы. Волоче-

нием производят проволоку, обрабатывают прутки, профили и трубы. Прессованием изготавливают прутки, профили и трубы.

Ковку, горячую и холодную объемную и листовую штамповку применяют главным образом на металлообрабатывающих заводах (в машиностроении, приборостроении и т. д.). Свободной ковкой изготавливают различные поковки в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Горячую объемную штамповку применяют для производства большого количества поковок. Холодной объемной штамповкой изготавливают небольшие точные детали машин и приборов в серийном и массовом производстве. Листовую штамповку используют для получения различных изделий из листа (кожухи автомобилей, детали самолетов и т. д.).

3. ИСХОДНЫЕ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ РАЗНЫХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Исходными заготовками для обработки металлов давлением являются плоские и круглые слитки разных размеров и массы из стали и цветных сплавов.

До обработки давлением слитки подвергают механической обработке, которая заключается в отрезке избыточной и донной частей и очистке поверхности от литейных пороков.

Размеры и масса слитков зависят от их назначения. Цилиндрические слитки предназначаются для изготовления прутков, профилей и труб. Их получают главным образом методом непрерывного литья. Плоские слитки применяют для изготовления различных поковок, листов, лент, полос и т. п.

Глава II

НАГРЕВ МЕТАЛЛА ПЕРЕД ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ

1. НАЗНАЧЕНИЕ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК

Нагрев заготовок перед обработкой давлением производится с целью повышения пластичности металла, в результате чего его сопротивление деформации значительно

уменьшается (в 10—15 раз) по сравнению с обычным холодным состоянием. Следовательно, для деформации нагретых заготовок требуется прикладывать меньшие усилия, чем при деформации тех же заготовок в холодном состоянии, что позволяет снизить стоимость изготавливаемых изделий. Нагрев должен обеспечить равномерную температуру по сечению заготовки, минимальное окисление и обезуглероживание стали.

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Температурные интервалы обработки давлением зависят главным образом от химического состава сплавов.

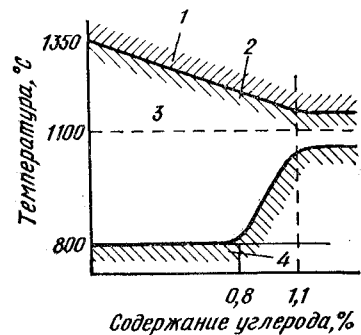


Рис. 104. Температурные интервалы горячей обработки давлением стальных заготовок:

1 — зона пережога; 2 — зона перегрева; 3 — зона горячей обработки давлением; 4 — зона наклепа

Каждой стали соответствует определенная температура нагрева. Начальную температуру обработки определяют по формуле $t_{\text{н}} = a \cdot t_{\text{пл}}$, где $t_{\text{пл}}$ — температура плавления сплава (берется из диаграммы состояния); a — коэффициент понижения температуры ($a = 0,85 + 0,95$). Температура концаковки или прокатки углеродистых сталей в зависимости от содержания в них углерода определяется по формуле:

$$t_{\text{к}} \approx 0,7 t_{\text{пл}}$$

Температурный интервал деформации углеродистых сталей определяется по диаграмме состояния сплавов железо — углерод (рис. 104).

3. РЕЖИМ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК И ОХЛАЖДЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

Режим нагрева заготовок зависит: от температуры нагрева заготовок и температуры рабочего пространства печи; от сорта и толщины нагреваемых заготовок; от формы сечения и способа укладки заготовок на поду.

Круглые заготовки при прочих равных условиях нагреваются быстрее квадратных заготовок. При плотном расположении заготовок на поду печи поверхность, воспринимающая тепло, у заготовок квадратного сечения меньше, чем у заготовок круглого сечения, так как нагрев будет происходить только с одной стороны. Заготовка квадратного сечения, посаженная на подкладку, будет нагреваться так же быстро, как круглая заготовка,

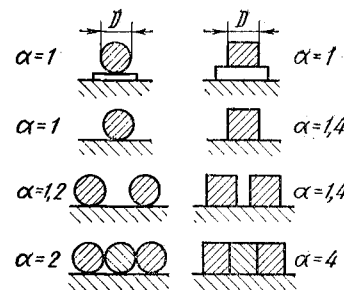


Рис. 105. Значения коэффициента α в зависимости от способа укладки заготовок на поду печи

расположенная на подине (рис. 105). Во избежание возникновения в металле термических напряжений, связанных с неравномерным прогревом, заготовки следует нагревать с определенной скоростью.

4. НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ И ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Нагревательные печи делятся на пламенные и электрические. По распределению температуры в рабочем пространстве пламенные печи подразделяют на камерные и методические. Камерные печи строятся с неподвижным и выдвижным подом. Температура рабочего пространства по всему объему примерно одинаковая. Холодный металл загружают в предварительно нагретую до 1200—1300°С печь. При нагреве в камерных печах необходимо, чтобы заготовки нагрелись раскаленными про-

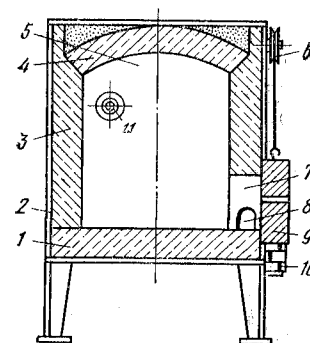


Рис. 106. Схема пламенной камерной печи периодического действия:

1 — под; 2 — металлический каркас; 3 — стены; 4 — свод; 5 — рабочее пространство печи; 6 — блок; 7 — загрузочное окно; 8 — дымоход; 9 — заслонка; 10 — противовес; 11 — горелка

дуктами полного сгорания топлива, а не языками пламени, содержащими избыток кислорода, окисляющего металл. Для повышения температуры рабочего пространства и термического коэффициента полезного действия камерные пламенные печи имеют рекуператор, в котором используется тепло отходящих газов для подогрева воздушного дутья. Подогрев воздуха до 400°C дает экономно топлива до 20% и повышает температуру горения.

В камерные печи металл загружается периодически отдельными партиями (садками). После того как загруженная партия заготовок будет нагрета до нужной температуры, их последовательно вынимают из печи и подвергают деформации. Затем в печь загружают следующую садку и т. д. К печам периодического действия относятся также нагревательные колодцы, щелевые и очковые печи.

На рис. 106 показана схема широко применяющейся в кузнечно-штамповочных цехах простой внутренней печи, металлический каркас которой выложен внутри шамотным кирпичом. Печи такого типа имеют площадь пода от 1 до 8 м^2 и более. Они предназначены для нагрева сравнительно небольших слитков или заготовок. К. п. д. таких печей без использования тепла отходящих газов очень низкий (10—15%), а у печей, оборудованных рекуператорами или регенераторами, к. п. д. составляет порядка 15%.

Для нагрева крупных слитков или заготовок применяются камерные печи с выдвижным подом. Подом печи служит платформа, футерованная шамотным кирпичом, перемещающаяся на катках по рельсам. С помощью такой тележки можно загружать в печь слитки или заготовки массой до 100 т и более. Печь имеет два регенератора, которые работают по тому же принципу, что и у мартеновских печей. Благодаря использованию тепла отходящих газов к. п. д. таких печей выше, чем у простых камерных печей, и достигает 25%. Обычно такие печи применяют в цехах свободнойковки, оборудованных гидравлическими прессами. Напряжением пода кузнечных печей называют съем металла с 1 м^2 пода в час. Обычно он составляет $200\text{—}400\text{ кгс/м}^2$ и более.

Нагревательные колодцы представляют собой шахтные печи, оборудованные рекуператорами или регенераторами; служат они для нагрева слитков. Сводом нагревательных колодцев служит крышка, которая перед

загрузкой или выгрузкой слитков сдвигается в сторону специальным механизмом.

Этот вид печей применяют в основном в прокатных цехах.

Щелевые и очковые печи предназначены для нагрева концов прутков или труб. Загрузочные окна имеют форму щелей или ряда отдельно расположенных очковых

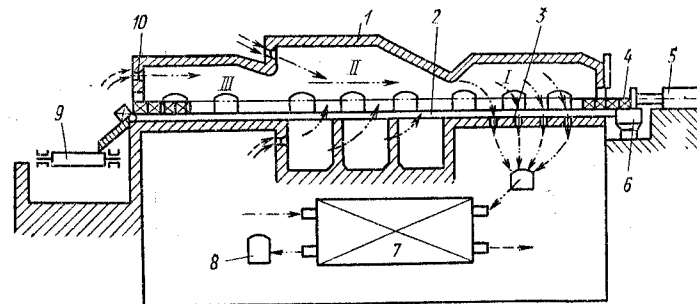


Рис. 107. Схема трехзонной методической нагревательной печи с рекуператором:

1 — фигурный свод; 2 — охлаждаемые водой стальные трубы по которым перемещаются заготовки; 3 — газовые каналы; 4 — заготовки; 5 — толкатель; 6 — рольганг, подающий заготовки к толкателю; 7 — рекуператор; 8 — дымовод; 9 — рольганг, передающий нагретые заготовки к прессу, молоту или прокатному стану; 10 — горелки

отверстий. Эти печи бывают обычно небольшого размера, применяют их в штамповочных и кузнечных цехах.

Методические печи отличаются от камерных значительно большей длиной (до 30 м и более) и различными температурными зонами (I, II и III) рабочего пространства (рис. 107). Заготовки в таких печах нагреваются постепенно. Их передвигают обычно толкателем навстречу движению продуктов горения от загрузочного окна вдоль пода к месту выдачи нагретых изделий (методичный нагрев). Первая зона печи является подогревательной и имеет температуру $600\text{—}800^{\circ}\text{C}$. Вторая — зона высоких температур ($1250\text{—}1350^{\circ}\text{C}$), третья — зона выдержки (температура на $50\text{—}100^{\circ}\text{C}$ выше верхнего предела температурного интервалаковки для данного металла). В третьей зоне происходит выравнивание температуры по сечению заготовки. Удельный расход топлива в методических печах ниже, а производительность выше, чем в

камерных печах, поэтому они получили широкое применение в массовом производстве.

Расход условного топлива составляет: для камерных печей до 30%, а для методических до 10% от массы нагреваемого металла.

В качестве топлива в нагревательных печах используют газ и мазут, а в горнах обычно кокс или древесный уголь. Горн применяют главным образом при ручной ковке. Основным условием полного сжигания топлива (газа или мазута) является хорошее смешение его с воздухом. Для смешивания газообразного топлива с воздухом и регулирования процесса горения применяются горелки. Горелки работают при давлении газа 50—250 мм вод. ст. и давлении воздуха около 300 мм вод. ст.

Для распыливания мазута и смешивания его с воздухом применяют форсунки, причем мазут предварительно подогревают до 60—70° С. Наибольшее применение получили форсунки низкого давления (давление воздуха 500—1000 мм вод. ст.).

Для повышения термического к. п. д. камерных печей, кроме подогрева воздуха, используют также тепло отходящих газов для предварительного подогрева заготовок. С этой целью применяются двухкамерные реверсивные печи, позволяющие получить экономию топлива до 40%.

В нагревательных печах открытого пламени угар металла при многократном нагреве достигает 5% и более.

Этот угар происходит главным образом за счет окалинообразования при нагреве металла. Поэтому здесь стараются обеспечить безокислительный нагрев, который достигается при неполном сгорании топлива (газа), т. е. при расходе воздуха около 50% от количества, необходимого для полного сжигания топлива. При этом воздух применяется подогретый до 800—1000° С. В результате указанных мероприятий в атмосфере печи появляются газы СО и Н₂, которые препятствуют окислению нагреваемых стальных заготовок.

С этой же целью для безокислительного нагрева заготовок применяются электрические печи сопротивления и муфельные с защитным газом, в которых потери металла от угара значительно сокращаются. В электрических печах сопротивления в стенах монтируются металлические или карборундовые (силитовые) элементы сопротив-

ления, подключаемые к силовой сети, которые излучают тепло, необходимое для нагревания заготовок.

Кроме нагрева в печах, в кузнечном производстве применяется индукционный и контактный электронагрев заготовок. При этом скорость нагрева в 10—20 раз больше, чем в нагревательных печах, а угар металла снижается до 0,5%.

При индукционном нагреве заготовка помещается в индуктор, представляющий собой катушку из витков

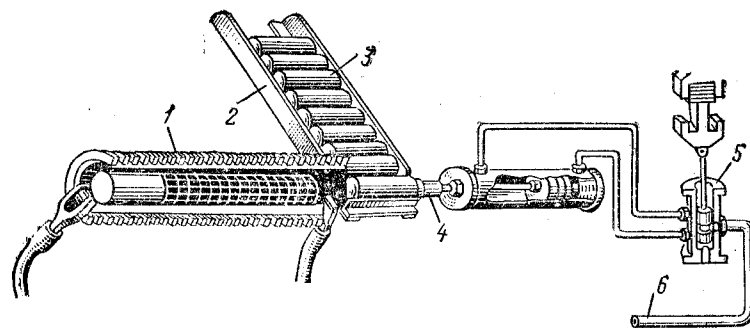


Рис. 108. Индукционная нагревательная установка непрерывного действия

медной трубки, внутри которой циркулирует для охлаждения вода. Переменный ток, проходя через индуктор, возбуждает магнитное поле индукции, в результате чего в заготовке возникают вихревые токи, нагревающие ее до высокой температуры. Индукционная нагревательная установка непрерывного действия показана на рис. 108, она состоит из индуктора 1, загрузочного устройства 2, подающего заготовки 3 к пневматическому толкателю 4, который проталкивает их через определенные промежутки времени через индуктор.

Толкатель имеет электропневматический привод 5, к которому подводится сжатый воздух по трубопроводу 6.

Глубина прокаливания возникающего в заготовке тока определяется по формуле

$$h = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}},$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление металла;

μ — магнитная проницаемость;

f — частота тока.

Отсюда следует, что чем меньше частота тока, тем больше глубина его проникновения в нагреваемую заготовку. Значит, более толстые заготовки следует нагревать переменным током меньшей частоты и наоборот. Исходя

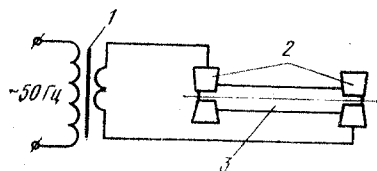


Рис. 109. Принципиальная схема электроконтактного способа нагрева заготовок

из практики, частоту тока выбирают так, чтобы отношение диаметра нагреваемой заготовки к глубине проникновения тока находилось в пределах 2,5—5.

Индукционные установки широко применяются для нагрева заготовок из стали, медных, никелевых и других сплавов. Расход электроэнергии составляет от 0,4 до 0,5 кВт·ч на 1 кг нагреваемых стальных заготовок. Принципиальная схема электрического контактного способа нагрева заготовок приведена на рис. 109. От понижающего силового трансформатора 1 ток подается с помощью шин к пневматическим медным контактам 2, между которыми зажимаются концы нагреваемой заготовки 3. Силовой трансформатор в первичной обмотке имеет несколько ступеней регулирования, что позволяет изменять напряжение, а следовательно, и силу тока во вторичной цепи, в которую включена заготовка. Напряжение во вторичной цепи трансформаторов составляет 4—16 В, а сила тока может достигать нескольких десятков тысяч ампер. При контактном способе заготовки нагреваются очень быстро, что обеспечивает высокую производительность, небольшую потерю тепла (к. п. д. установок 65—80%) и незначительное окисление металла. Для равномерного нагрева металла контактным способом необходимо, чтобы заготовки (прутки, трубы и т. д.) имели одинаковое сечение по длине и небольшой диаметр (примерно до 80 мм). Этот способ нагрева применяют в кузнечно-штамповочных цехах для нагрева сравнительно мелких заготовок. Электроконтактный нагрев также применяют непосредственно в штамповочных агрегатах, например в высадочных машинах, для изготовления изделий

типа стержней с головками или колец. Расход электроэнергии 0,35—0,45 кВт·ч/кг. Контроль температуры нагреваемой заготовки осуществляется с помощью фотоэлектрического пирометра, который при достижении заданной температуры нагрева автоматически отключает установку от сети контактором. Одновременно с этим размыкаются контакты, удерживающие заготовку, и она подается для обработки давлением.

5. КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

При обработке металлов давлением очень важно соблюдать температуру нагрева металла, что достигается путем ее контроля соответствующими приборами, называемыми пирометрами. Пирометры подразделяются: на термоэлектрические, оптические, радиационные и фотоэлектрические. Кроме измерения температуры, пирометры можно использовать в качестве регуляторов теплового режима нагревательных устройств. Термоэлектрические приборы, состоящие из термопары и милливольтметра или потенциометра и имеющие наибольшее применение, удобны тем, что позволяют фиксировать, записывать и регулировать температуру на большом расстоянии от объекта и обеспечивать большую точность измерения (до $\pm 5^\circ\text{C}$). При измерении температур до 1000°C применяют хромель-алюмелевые термопары, а для температур до 1500°C — платина-платинородиевые.

Для периодического быстрого контроля температуры применяют пирометры: оптический с исчезающей нитью, фотоэлектрической и радиационный.

Глава III

ПРОКАТКА МЕТАЛЛА

1. СУЩНОСТЬ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ

Прокаткой называется процесс обработки металла давлением путем обжатия его вращающимися валками прокатного стана. В зависимости от типа изготавливаемых изделий применяют три основных вида прокатки: про-

дольную, поперечную и косую (рис. 110). При продольной прокатке металл 2 обжимается между двумя валками 1, вращающимися в разные стороны, и перемещается перпендикулярно осям валков. Этот вид прокатки имеет

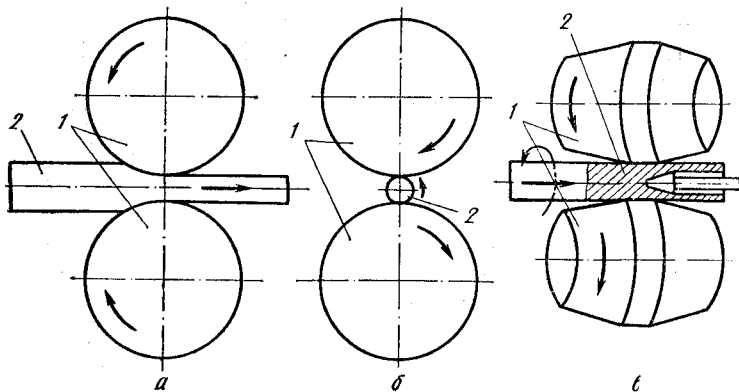


Рис. 110. Схемы основных видов прокатки:
а — продольная; б — поперечная; в — косая

наибольшее применение и используется для изготовления профильного и листового проката.

Поперечную и косую прокатку применяют для изготовления изделий, имеющих форму тела вращения. При поперечной прокатке оба валка 1 вращаются в одном направлении и придают вращение заготовке 2, которая деформируется вдоль оси валков. С помощью этого вида прокатки изготавливают периодический прокат (с изменением по длине профилем). При косой прокатке валки 1 располагаются под некоторым углом один к другому, благодаря чему заготовка 2, кроме вращательного движения, имеет еще и поступательное. Этот вид прокатки применяют для получения лустотелых заготовок при производстве бесшовных труб.

При продольной прокатке зазор между валками устанавливается меньше толщины исходной заготовки. Процесс прокатки происходит за счет трения, возникающего между поверхностями валков и обрабатываемой заготовки. При этом металл подвергается деформации только на небольшом участке, называемом очагом деформации (рис. 111, заштрихованный участок). Дуга АВ, по кото-

рой валки соприкасаются с обрабатываемым металлом, называется дугой захвата l_d , а ее проекция на горизонтальную ось — длиной очага деформации l_1 . Угол α , соответствующий дуге захвата, называется углом наклона.

В результате пластического деформирования металла толщина заготовки уменьшается, а длина увеличивается; при этом несколько увеличивается также и ее ширина. Увеличение длины заготовки называют вытяжкой, а увеличение ширины называют уширением. Отношение полученной длины заготовки после прокатки l_2 к ее первоначальной длине до прокатки l_1 , характеризующее продольную деформацию, называется коэффициентом вытяжки μ :

$$\mu = \frac{l_2}{l_1}$$

Коэффициент вытяжки может быть также выражен отношением площадей поперечного сечения заготовки до прокатки F_1 и после прокатки F_2 :

$$\mu = \frac{F_1}{F_2}$$

Отсюда следует, что длина заготовки увеличивается пропорционально уменьшению ее поперечного сечения. Коэффициент вытяжки показывает, во сколько раз уменьшается сечение заготовки после каждого пропуска через валки. Коэффициент вытяжки зависит от материала

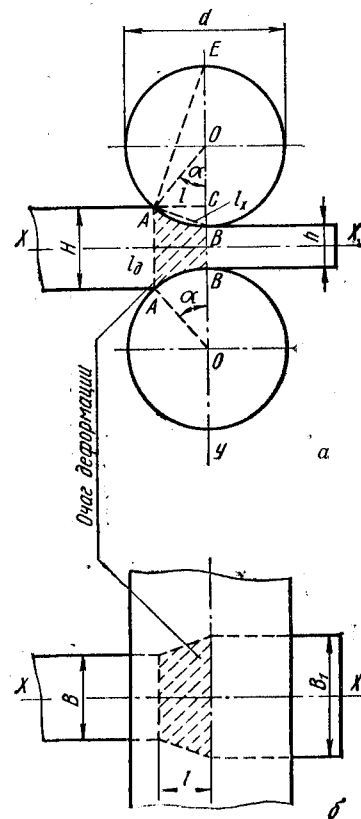


Рис. 111. Схема очага деформации в двух сечениях:
а — продольное; б — поперечное

ла, толщины, температуры заготовки и других условий прокатки, и принимается в пределах 1,1—2,0.

Разность между толщиной заготовки до прокатки и после прокатки, т. е. $H-h$, называется линейным или абсолютным обжатием, а отношение исходной высоты к высоте после прохода (прокатки) называется коэффициентом обжатия λ .

$$\lambda = \frac{H}{h}.$$

Относительное обжатие ϵ определяется следующей формулой:

$$\epsilon = \frac{H-h}{H} 100\%.$$

Отношение ширины полосы после прокатки B_2 к исходной ширине до прокатки B_1 называют коэффициентом уширения, т. е.

$$\beta = \frac{B_2}{B_1}.$$

Вытяжка, уширение и обжатие характеризуют продольную, поперечную и высотную деформации заготовки. При этом согласно закону постоянства объема металла при пластической деформации объем до деформации V_1 равен объему металла после деформации V_2 . Пользуясь этим законом, можно написать

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{HB_1L_1}{hB_2L_2} = 1.$$

Отсюда следует, что

$$\frac{H}{h} = \frac{B_2L_2}{B_1L_1} = \lambda = \beta\mu.$$

Из этого уравнения видно, что металл, обжатый по высоте, вытягивается и уширяется. Допустимый угол захвата по заданному обжатию и известному диаметру валков определяют из уравнения

$$\cos \alpha = 1 - \frac{H-h}{d}.$$

Допустимый угол захвата зависит от материала валков и прокатываемой заготовки, состояния их поверхностей, температуры и скорости прокатки. При прокатке на гладких валках угол захвата меньше, чем в валках с насечкой, примерно на 10° .

При прокатке квадратных и плоских слитков максимальный угол захвата составляет $25-30^\circ$, при горячей прокатке листов и полос $-15-20^\circ$, а при холодной прокатке листов и лент с применением смазки $-5-10^\circ$.

Исследованиями и практикой установлено, что при прокатке скорость металла при выходе из валков несколько больше окружной скорости вращения валков. Это явление называется опережением.

Величину опережения необходимо подсчитывать при прокатке на непрерывных станах. Она определяется по формуле

$$S = \frac{v_1 - \omega}{\omega} 100\%,$$

где v_1 — скорость металла при выходе из валков;
 ω — окружная скорость вращения валков.

Величина опережения тем больше, чем больше радиус валков и меньше толщина прокатываемой заготовки; она примерно составляет 3—6% окружной скорости валков.

В настоящее время до 80% всей выплавляемой стали и около 55% выплавляемого цветного металла подвергается прокатке.

2. ГОРЯЧАЯ И ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА

Обычно сталь прокатывают после нагрева до $1100-1250^\circ\text{C}$. Лишь тонкие листы прокатывают в холодном состоянии, так как они быстро остывают и подогрев не дает эффекта. Иногда тонкие листы (кровельное железо, жести) прокатывают в горячем состоянии в пакетах.

На современных непрерывных листовых станах прокатка слитка на окончательный размер производится с одного нагрева. Для этого полученные из слитка слезбы, нагретые до $1100-1200^\circ\text{C}$, прокатывают без промежуточного нагрева в клетях непрерывного стана. Получаемые на этих станах тонкие полосы и ленты сматывают

в рулоны и в дальнейшем разрезают на размеры нужной длины.

Горячая прокатка листового материала обычно заканчивается при температуре ниже температуры рекристаллизации (температура рекристаллизации для чистых металлов $T_p = 0,4T_{пл}$), что приводит к его наклепу. Для снятия наклепа применяют отжиг. В том случае, когда горячекатаный листовый материал предназначен для холодной прокатки или штамповки, его подвергают травлению для удаления окалины. Отожженная и протравленная листовая сталь называется декапированной.

Холодная прокатка листового стали производится двумя способами: листовым (прокатка листов ведется поштучно — карточками) и рулонным (прокат получается в виде полос или ленты, сматываемых в рулоны). Последний способ является более современным.

3. УСТРОЙСТВО ПРОКАТНОГО СТАНА И КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ

Прокатный стан (рис. 112) состоит из одной или нескольких рабочих клеток 10, в которых находятся прокатные валки 2 (от двух до шести и более). Рабочая клетка состоит из двух станин 1, соединенных между собой поперечными стальными стяжками 3, и монтируется на фундаменте.

Вращательное движение валки получают от электродвигателя 9, через редуктор 7, шестеренную клетку 5, соединительные муфты 6 и 8 и шпиндели 4. Валки применяются гладкие и калиброванные.

Гладкие валки применяют для прокатки листового и полосовой стали, сортовую сталь прокатывают в калиброванных валках, т. е. в валках, имеющих на рабочей поверхности специальные вырезы, называемые ручьями. Контур, образованный двумя ручьями валков, называют калибром.

На рис. 113 показаны гладкий (а) и калиброванный (б) валки и пример калибровки валков для прокатки балок двутаврового сечения (в). Рабочая часть валка называется бочкой: в одном случае она гладкая 1, в другом — с ручьями 4. По краям бочки валки имеют шейки 2, которыми они опираются на подшипники, расположенные в станине. За шейками следует так

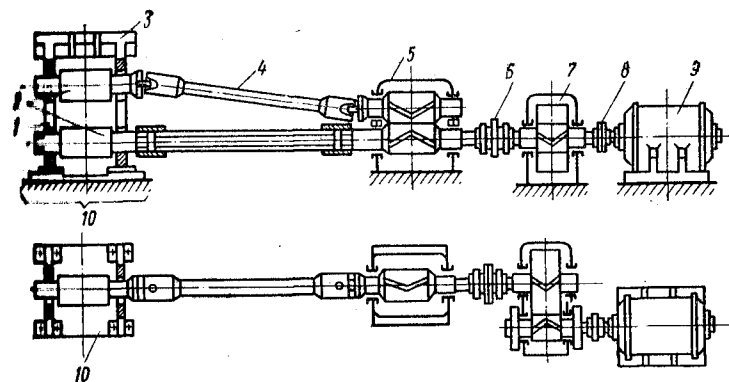


Рис. 112. Принципиальная схема устройства прокатного стана:

а — вид сбоку; б — вид сверху

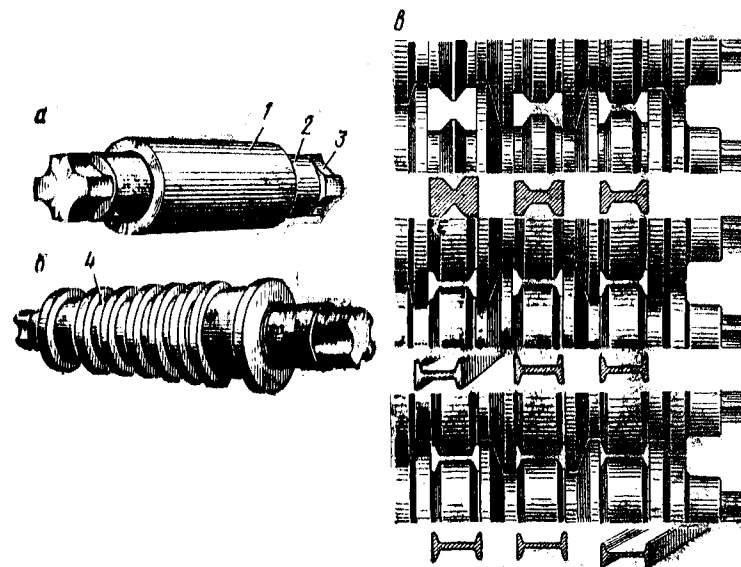


Рис. 113. Валки прокатного стана

называемые тrefы 3, имеющие форму крестовин. С помощью этих тref валки соединяются с муфтой или шпинделем, посредством которых валки приводятся во вращение. Тrefы предназначаются также для перемещения валков по вертикали, что позволяет регулировать расстояние между валками.

Калибровка валков сортопрокатных станов производится с целью получения проката определенного профиля и размера. Она зависит от размера и формы сечения исходной заготовки и профиля получаемого проката. Путем последовательного прохождения заготовки через соответствующие калибры осуществляют постепенное превращение ее в нужный профиль. Число калибров соответствует числу пропусков заготовок. Так, например, для прокатки рельсов валки обычно изготавливаются с 9 калибрами, для балок — с 9—13 и т. д. Калибры подразделяются на подготовительные и чистовые. Подготовительные калибры служат для постепенного приближения поперечного сечения заготовки к готовому профилю. Чистовые калибры служат для получения готового проката заданной точной формы. Размеры чистовых калибров принимаются с учетом коэффициента температурного расширения металла и минусового допуска.

Для предотвращения защемления прокатываемой полосы в калибре его вертикальные стенки имеют наклон (выпуск) к оси валков. Кроме этого, при изготовлении калибров учитывается величина уширения прокатываемой заготовки. Материалом для изготовления валков служат чугуны и сталь.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Прокатные станы в зависимости от числа и расположения валков в рабочей клетке подразделяют на дуо (двухвалковые), трио (трехвалковые), кварто (четыревалковые), многовалковые и универсальные.

Станы дуо могут быть нереверсивные (с постоянным вращением валков в одном направлении) и реверсивные (переменное направление вращения). В реверсивных станах (блужинги, слябинги) заготовка прокатывается между валками в прямом и обратном направлениях несколько раз. Станы трио имеют в рабочей клетке три прокатных валка. Эти станы оборудованы подъемно-качаю-

щимися столами, установленными с одной или обеих сторон клетки, предназначенными для подъема и задачи прокатываемой заготовки между средним и верхним валками. На этих станах получают сортовой прокат.

Станы кварто имеют в рабочей клетке четыре валка. Из них два валка меньшего диаметра являются рабочими, а два валка большего диаметра — опорными. Эти станы применяют при горячей и холодной прокатке листовой и полосовой стали. Многовалковые станы имеют в рабочей клетке до двадцати и более валков небольшого диаметра (10—30 мм). Рабочие валки этих станов ввиду их малого диаметра бесприводные. Опираются они на ряд приводных валков, опирающихся в свою очередь на опорные валки. Такая конструкция обеспечивает большую жесткость всей многовалковой системы и отсутствие прогиба рабочих валков. Благодаря этому многовалковые станы широко применяют для изготовления весьма тонкой ленты.

Универсальные станы имеют в рабочей клетке, кроме горизонтально расположенных валков, еще и вертикальные валки. Заготовки в этих станах обжимаются горизонтальными и вертикальными валками, причем последние обеспечивают получение гладких и ровных кромок прокатных изделий.

Прокатные станы бывают одноклетевые и многоклетевые. К одноклетевым станам относятся блужинги, слябинги, толстолистовые станы дуо и трио, универсальные станы. В многоклетевых станах имеется несколько рабочих клеток, которые могут быть расположены последовательно.

Самым совершенным типом современных многоклетевых станом являются непрерывные станы (рис. 114) с большим количеством расположенных последовательно одной и другой рабочей клеток. Прокатка ведется по принципу в каждой клетке один проход; при этом полоса одновременно находится в нескольких клетках. Сечение прокатываемой полосы после прохождения каждой клетки уменьшается, а скорость прокатки увеличивается и достигает 35—40 м/с и более.

В зависимости от назначения, станы условно подразделяют на два основных типа: 1) станы, производящие заготовки для дальнейшей переработки их в готовые изделия и 2) станы, производящие готовый прокат. К пер-

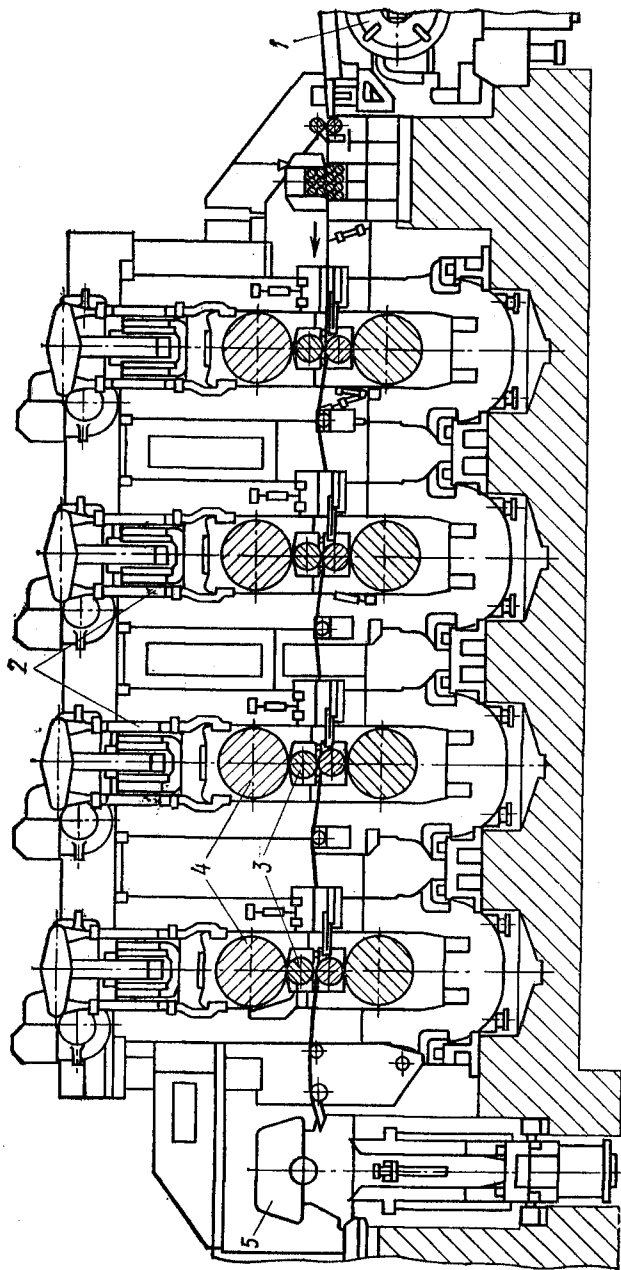


Рис. 114. Схема непрерывного четырехклетьевого стана для холодной прокатки:

1 — разматыватель рулонов; 2 — клетки; 3 — приводные рабочие валки; 4 — опорные валки; 5 — моталка барабанного типа для смотывания прокатанной полосы

ному типу относят обжимные и заготовочные станы. К обжимным станам относятся блюминги и слябинги (диаметр валков 800—1400 мм), а также заготовочные станы (диаметр валков 450—750 мм).

Основная особенность устройства слябинга, по сравнению с блюмингом, это наличие, кроме горизонтальных валков, еще и вертикальных, служащих для обжатия боковых поверхностей слитка.

К станам, производящим готовый прокат, относят: рельсобалочные (диаметр валков 750—900 мм), крупносортовые (диаметр валков 500—750 мм), среднесортные (диаметр валков 350—500 мм), мелкосортные (диаметр валков 250—350 мм), полосовые (диаметр валков 300—400 мм), проволочные (диаметр валков 250—300 мм), толстолистовые (длина бочки 2000—5000 мм), тонколистовые (длина бочки 700—2800 мм), универсальные, трубные и станы специального назначения.

К станам специального назначения относятся колесо-прокатные, бандажепрокатные, шаропркатные и др.

Основной характеристикой сортовых станов является диаметр рабочих валков. При наличии нескольких клеток, характеристикой всего стана является диаметр рабочих валков чистовой клетки. Например, проволочный стан 250 означает, что диаметр рабочих валков чистовой клетки равен 250 мм.

Листовые станы характеризуются длиной бочки валков. Так, например, тонколистовой стан 1700 означает, что длина бочки валков равна 1700 мм и на них можно прокатывать листы шириной до 1500 мм. Ширина листа B_d определяется из выражения

$$B_d = B_0 \cdot 0,1B_0,$$

где B_0 — длина бочки валка.

В современном прокатном производстве цикл прокатки разделяется на две стадии: 1) получение из слитка заготовки и 2) изготовление из заготовки готовых изделий.

Б. ПРОКАТКА ЗАГОТОВОК

Заготовки получают из слитков, масса которых достигает 35 т и более. Слитки поступают в прокатный цех из сталеплавильного цеха. Причем для прокатки блю-

мов слитки отливают квадратного сечения, а для прокатки слябов слитки отливают прямоугольного сечения с соотношением ширины к толщине до 2,5—3,0. В прокатном цехе слитки нагреваются в нагревательных колодцах до нужной температуры (1000—1200° С) и затем краном подаются на рольганг, который передает их к прокатному стану. На блюминге из слитков получают заготовки (блюмы) квадратного сечения размерами со стороной от 150 до 450 мм и длиной от 1 до 6 м. Эти заготовки затем поступают на крупносортовой стан, где их прокатывают в заготовки заданного профиля и размера (до 50×50 мм). На слябингах из слитков получают заготовки (слябы) прямоугольного сечения шириной 700—1600 мм и более, толщиной 75—300 и длиной 1000—2500 мм.

6. ПРОКАТКА СОРТОВОЙ СТАЛИ

К сортовой стали относятся рельсы, балки, швеллеры, а также квадратные, полосовые, круглые, угловые и другие профили. Прокатка сортовой стали производится на многоклетевых станах, обычно с линейным расположением рабочих клетей. Исходные заготовки, блюмы и др. нагреваются до 1200—1250° С. Полученный сортовой прокат подвергают обработке и отделке: разрезка на мерные длины на дисковых пилах, правка на правильных машинах, удаление дефектов и т. д.

Часовая производительность прокатного стана определяется по формуле

$$A = \frac{3600G}{t},$$

где 3600 — число секунд в 1 ч;

G — масса слитка или заготовки, т;

t — ритм прокатки — время от начала прокатки предыдущей заготовки до начала прокатки следующей заготовки, с.

7. ПРОКАТКА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Прокатка листов подразделяется на горячую и холодную. Горячей прокаткой изготавливают толстую и тонкую листовую сталь, а холодной — только тонкие листы. Про-

катка листовой стали производится на многоклетевых станах. Исходные заготовки (слябы) после предварительной подготовки, заключающейся в удалении поверхностных дефектов, нагреваются в методических печах до 1200—1250° С. Вначале заготовки прокатывают в черновых, а затем в чистовых клетях. Температура начала прокатки в чистовой клети должна быть выше 1000° С, а конца — не ниже 720° С (при температуре ниже 700° С толстолистовая сталь получает значительный наклеп). Полученная толстолистовая сталь поступает на отделку (горячую правку, резку на гильотинных ножницах, термическую обработку и т. д.).

В черновых клетях заготовки обжимаются на 70—80% общего обжатия, а остальное обжатие приходится на чистовые клетки. За чистовой группой клетей установлены моталки, сматывающие полученные листы и ленты в рулоны, которые поступают либо в отделение отделки для правки, резки на листы нужной длины, термообработки, удаления дефектов, либо на склад цеха холодной прокатки.

Холодной прокаткой получают листы из конструкционной стали толщиной 0,5—1 мм (для автомобильной промышленности), листы электротехнической стали (трансформаторной и динамной) толщиной 0,4—0,6 мм, кровельные листы толщиной 0,3—0,6 мм, жести толщиной 0,15—0,35 мм, тонкие (толщиной 0,1—0,5 мм) и очень тонкие (толщиной <0,1 мм) полосы и ленты. При чем чем тоньше требуется получить листы или ленты, тем меньшей толщины должны быть заготовки. Холодная прокатка листов, полос и лент обычно производится на непрерывных станах кварто. Примером может служить четырехклетевый непрерывный стан кварто толщиной 0,4—0,8 мм и шириной 1500—2300 мм на этом стане состоит из следующих операций: подготовка исходной заготовки (горячекатаного подката) к прокатке (травление для очистки поверхности от окалины), прокатка, отжи для снятия наклепа, дрессировка и отделка. Травление горячекатаных рулонов из углеродистых сталей производят в 15—20%-ном растворе серной кислоты при температуре 80—90° С. Вслед за травлением следует промывка в воде и сушка.

При холодной прокатке листов применяют смазку

(эмульсию), представляющую собой смесь машинного масла с водой.

Отжиг холоднокатаной стали производится в специальных печах шахтного типа. Температура отжига низкоуглеродистых сталей $650\text{--}720^\circ\text{C}$. После отжига следует дрессировка — холодная прокатка на станах четверто стальных полос с небольшим обжатием ($0,5\text{--}3\%$) при скорости до 20 м/с . В результате этой операции повышается прочность стали без снижения ее пластичности. Вслед за дрессировкой следует операция отделки, которая состоит из размотки рулонов, резки полосы на мерные длины, правки, сортировки и укладки листов на стеллажи.

Для повышения коррозионной стойкости, а также с целью электроизоляции в последние годы широко применяют покрытие стальных листов и полос (плакирование) различными пластиками (полиэтиленом, хлорвинилом и др.). Процесс плакирования осуществляется на специальных установках и состоит из следующих основных операций.

1. Подготовка стальной полосы к плакированию: разматывание рулонов, обезжиривание в щелочном растворе, промывка в горячей воде, электрохимическое травление в 20% -ном растворе серной кислоты, промывка в воде и сушка.

2. Плакирование: нанесение на поверхность стальной полосы клея (марка ПЭД-Б и др.) толщиной $15\text{--}18\text{ мкм}$, подогрев полосы токами высокой частоты до 200°C для удаления растворителя клея, который улетучивается, и получение прочного сцепления клея с металлом; нанесение на полосу, покрытую клеем, хлорвиниловой пленки; прокатка при $160\text{--}180^\circ\text{C}$, охлаждение плакированной полосы и сматывание ее на моталке в рулон. Прокатка производится при минимальном давлении валков на полосу, равном $0,05\text{ кгс/мм}^2$, со скоростью около 2 м/с .

Жесть в рулонах обычно прокатывают на непрерывных пятиклетевых станах. Скорость прокатки до 30 м/с . Для предохранения от коррозии жесть в зависимости от назначения подвергают цинкованию, лужению, плакированию и т. п.

Применяется два способа лужения: 1) горячее — путем погружения жести в расплавленное олово и 2) электролитическое. Последний способ обеспечивает

более равномерное покрытие жести с меньшим расходом дорогостоящего олова.

Стальная лента и жесть с пластмассовым (полихлорвиниловым и др.) покрытием обладает повышенной коррозионной стойкостью. Она хорошо поддается гибке, отбортовке, вырубке и другим операциям и при этом не происходит отслаивания защитной пленки.

8. ПРОКАТКА РАЗЛИЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Прокатка колес, бандажей и периодического проката производится на специальных прокатных станах. Цельнокатаные железнодорожные колеса и бандажи изготавливают из многогранных слитков углеродистой стали.

Процесс изготовления колес состоит из следующих основных операций: 1) резка слитков на мерные заготовки; 2) нагрев заготовок в методических печах; 3) осадка и прошивка колесных заготовок с последующей формовкой на прессах; 4) прокатка полученных заготовок на колесопркатном стане; 5) выгибка и калибровка колес на прессе; 6) термическая обработка колес. Вслед за прокаткой колеса передаются на мощный (2500 т) парогидравлический пресс, где производится выгибка диска колеса и калибровка обода.

Периодический прокат (рис. 115) представляет собой круглые периодические профили, являющиеся заготовками для последующей штамповки,ковки или обработки резанием, шары для шарикоподшипников и шаровых мельниц и пр. При периодическом прокате получают заготовки, поперечное сечение которых изменяется. Причем это изменение обычно периодически повторяется (периодический прокат) по длине прокатываемой заготовки. Применение указанных заготовок позволяет сократить число операций при последующих способах обработки и получать экономно металла (до 30%) по сравнению с производством деталей из обычного проката.

Периодический прокат можно получать поперечной и продольной прокаткой. Поперечную прокатку обычно производят между двумя валками 1 и 2 (рис. 116), вращающимися в одну сторону. Заготовка 3 при этом задается вдоль линии и, получая вращательное движение, прокатывается поперек. Перемещаясь одновременно

по длине, она вытягивается и принимает профиль калибров валков с образованием периодического проката 4.

В последние годы получил большое распространение процесс прокатки в винтовых калибрах, этот способ применяется для изготовления шаров для подшипников.

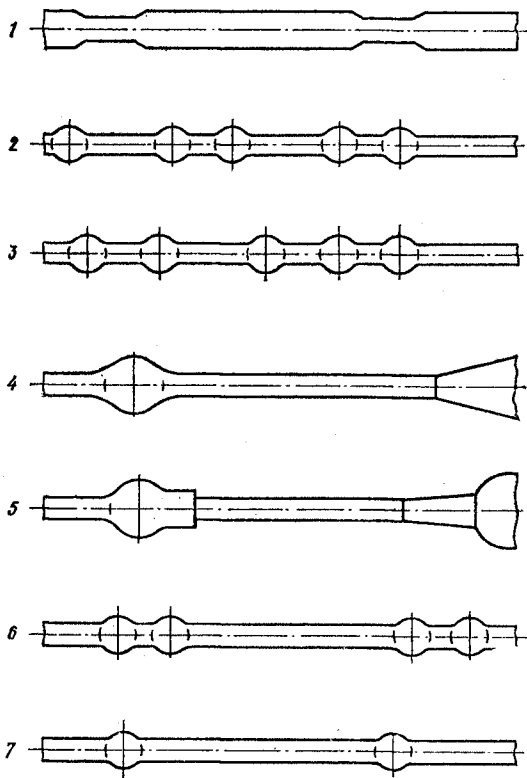


Рис. 113. Виды профилей периодического проката, применяемого для последующей штамповки деталей автомобилей:

1 — для коленчатого вала; 2 — для поперечины двигателя; 3 — для серьги передней рессоры; 4 — для педали тормоза; 5 — для рычага скоростей; 6 — для рычага тормоза; 7 — для рычага переключения

Валки имеют круглые калибры, выполненные по винтовой линии. Оси валков расположены одна к другой под некоторым углом, что облегчает вытягивание прутка.

9. ПРОИЗВОДСТВО ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Гнутые профили (рис. 117) представляют собой металлические конструкции, изготовленные из стального листа, ленты, швеллеров, тавровых балок, уголков и т. д. Их изготавливают весьма сложной формы, что исключает возможность их получения обычными методами прокатки. Поэтому здесь применяют роликогибочные станы периодического и непрерывного действия с последовательно расположенными клетями с приводными роликами. Гнутые профили применяются в строительстве про-

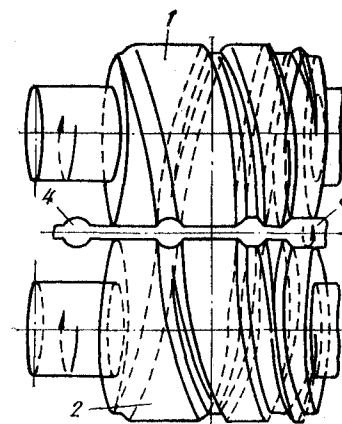


Рис. 116. Схема получения периодического проката

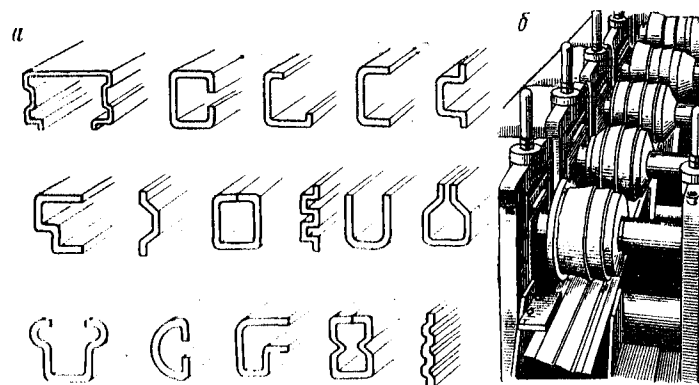


Рис. 117. Гнутые профили (а) и профилегибочный стан (б)

мышленных и гражданских зданий для карнизов, прогона в фонарях, для прогонов остекления фонарей, для поручней лестниц жилых зданий и т. д.

Применение гнутых профилей вместо сварных конструкций, изготовленных из нескольких горячекатаных профилей, позволяет сэкономить в отдельных случаях до 30% металла.

10. ПРОКАТКА БЕСШОВНЫХ И СВАРНЫХ ТРУБ

Бесшовные трубы изготовляют путем горячей прокатки круглых заготовок на специальных станках. Заготовки режут на мерные длины и центрируют (в них высверли-

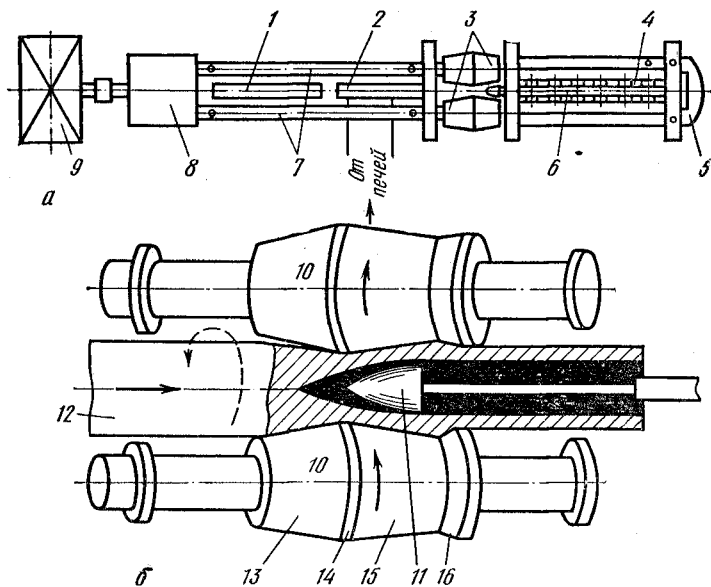


Рис. 118. Схема прошивки трубной заготовки на прошивном стане с бочкообразными валками.

а — схема расположения стана; б — схема прошивки заготовки; 1 — толкатель; 2 — желоб; 3 — бочкообразные валки; 4 — рольганг; 5 — замок; 6 — стержень с пробкой; 7 — соединительные шпиндели; 8 — шестеренная клеть; 9 — двигатель; 10 — валки; 11 — пробка на стержне; 12 — заготовка; 13 — конус прошивки; 14 — калибровочный пояс; 15 — конус раскатки; 16 — конус выдачи

вают отверстия диаметром до 30 мм и глубиной до 35 мм), а затем нагревают до температуры 1200—1250°С в кольцевых печах с вращающимся подом или в методических печах. Процесс изготовления бесшовных стальных горячекатаных труб состоит из двух основных стадий:

1) получение из заготовки гильзы, 2) прокатка гильзы в трубу.

Для получения пустотелой гильзы нагретая заготовка поступает на валковый стан поперечно-винтовой или косой прокатки (рис. 118), где происходит ее прошивка. Валки прошивных станов имеют диаметр от 100 до 1300 мм с числом оборотов в минуту соответственно 100—180 и 60—120. Валки имеют бочкообразную форму (в виде двух усеченных конусов) и расположены в параллельных оси прокатки плоскостях под некоторым углом (8—15°) один к другому. Рабочие валки имеют конусы прошивки, раскатки и выдачи, а в середине — калибровочный пояс. Оба валка прошивного стана вращаются в одном направлении, а заготовка — в противоположном. Вращение валков производится от электродвигателя через шестеренную клеть и универсальные шпиндели. При контакте заготовки с валками прошивного стана она получает вращательное и поступательное движение вдоль оси валков. При каждом повороте валков заготовка поворачивается несколько раз вокруг своей оси, обжимается и удлиняется (примерно в 2—3 раза). При этом заготовка надвигается на пробку со стержнем и прошивается. Пробка развальцовывает отверстие и придает ему правильную (круглую) форму и ровную поверхность. В результате прокатки заготовки на прошивном стане получается толстостенная короткая труба (гильза), которая затем поступает для дальнейшей обработки на пилигримовый стан. Валки его имеют круглый калибр переменного сечения (рис. 119). Гильза, падая на оправку, подается в фасонный калибр переменного сечения. Процесс прокатки происходит следующим образом: когда валки образуют калибр максимального диаметра, гильза подается в валки, а затем подвергается обкатке с одновременным выдвиганием ее в направлении, обратном подаче. Затем после поворота валков, когда калибр опять будет иметь максимальный диаметр, гильза снова продвигается вперед на такую длину, чтобы после следующей подачи рабочий участок калибра захватил новую необжатую часть гильзы. При этом в момент подачи заготовка поворачивается вокруг своей оси.

Постепенно за 120—180 подач происходит прокатка гильзы в трубу диаметром до 600 мм и длиной до 30 м.

На пилигримовом стане за смену прокатывают до 1500 м труб диаметром 200 мм.

Вслед за раскаткой трубы подвергают обработке на специальной машине, где устраняется овальность и раз-

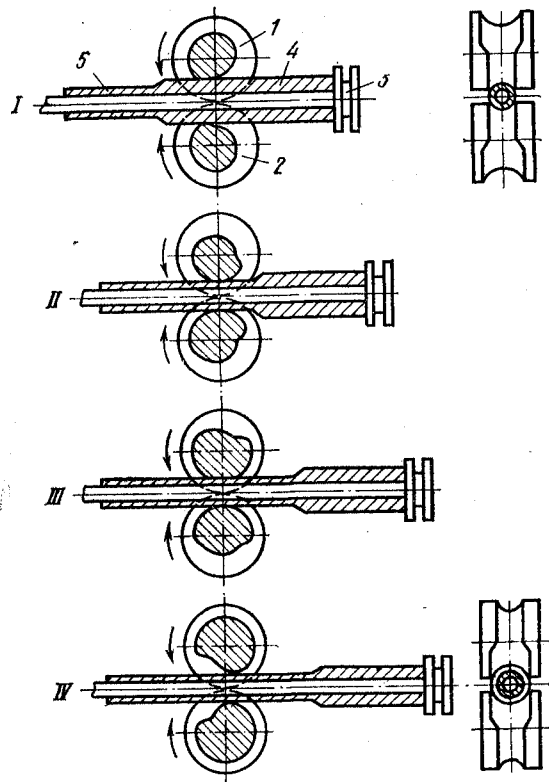


Рис. 119. Схема процесса прокатки гильзы в трубу на пилигримовом стане:

I — положение до обжатия; *II* — положение после обжатия участка заготовки; *III* — выравнивание обжатого участка; *IV* — момент окончания обжатия и выравнивания; *1* и *2* — ручьевые валки переменного радиуса; *3* — оправка; *4* — гильза; *5* — полученная труба

ностенность, и затем прокатывают на калибровочном стане для получения окончательных размеров.

Для производства бесшовных труб применяют главным образом автоматические и непрерывные трубопро-

катные станы. Эти станы состоят из нескольких клеток: прошивных, пилигримовых обкатных, калибровочных и правильных. На таких станах изготавливают бесшовные трубы диаметром от 50 до 426 мм и толщиной стенки 2—30 мм. Трубы меньшего диаметра (до 25 мм) получают на редуционных станах путем редуцирования, т. е. уменьшения диаметра трубы за счет увеличения ее длины, при этом прокатка ведется без оправки.

Сварные трубы изготавливают печной, газовой и электрической сваркой.

Исходной заготовкой для производства трубы служит горячекатаная лента (штрипсы) из низкоуглеродистой стали.

Для массового производства труб применяют непрерывные прокатные станы. Процесс идет в такой последовательности: после размотки и правки ленты производится обрезка начального и конечного торцов ее, а затем сварка конца ленты предыдущего рулона с началом последующего для обеспечения непрерывности процесса. После нагрева ленты в туннельной печи до температуры 1320—1350° С лента поступает в формовочно-сварочный стан, имеющий 6—12 клеток с вертикальными и горизонтальными валками, для формовки и сварки трубы. Сварка трубы происходит за счет сжатия кромок штрипса, нагретых до пластического состояния. Эти трубы предназначены для магистральных трубопроводов газа, нефти и нефтепродуктов (газовая и электрическая сварка труб приведена в разделе «Сварочное производство»).

II. ПРОКАТКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

Из цветных металлов и их сплавов прокаткой получают листы, полосы, ленты, различные профили и трубы. Процесс прокатки состоит примерно из тех же операций, что и для стали. Некоторые особенности прокатки цветных металлов и их сплавов обусловлены их физико-механическими и технологическими свойствами. В зависимости от указанных свойств металлов одни операции прокатки могут отсутствовать, а другие повторяться несколько раз.

При холодной прокатке слитков и заготовок в листы,

полосы и ленты применяют промежуточный отжиг для снятия наклепа металла и повышения его пластичности.

Исходной заготовкой для прокатки листов, полос и лент чаще всего являются слитки, которые, как правило, получают непрерывными способами разливки и реже — отливкой в изложницы. Из слитков круглой формы изготавливают прутки, проволоку, трубы. Заготовки прямоугольной формы применяют для прокатки листов, полос, лент. Перед прокаткой слитки подвергаются механической обработке (строгание, фрезерование), состоящей из удаления поверхностных дефектов. Затем слитки нагреваются в методических печах (слитки из медных сплавов нагревают в пламенных печах, а из легких металлов и сплавов — в электрических). Нагрев заготовок производится до следующих температур: меди 850—950° С, латуни 750—900° С, бронзы 800—920° С, никеля 1250—1320° С, нейзильбера (сплав марки МНц 15—20) и мельхиора (сплав марки МН19) 980—1030° С, алюминия 400—520° С, титана 800—820° и т. д. Перед прокаткой поверхность нагретых слитков очищают от окалины на дисковых щеточных машинах.

Для прокатки применяют станы дуо, трио и кварто, конструкции которых аналогичны рассмотренным выше.

Горяче- и холоднокатаные листы из тяжелых цветных металлов и сплавов (медь, латунь, бронза, никель, мельхиор, нихром и др.) изготавливают толщиной 0,4—25, шириной 600—3000 и длиной 1400—6000 мм; холоднокатаные ленты получают толщиной 0,05—2,0 и шириной 10—600 мм.

Листы из легких сплавов (алюминиевые сплавы марок АД, АД1, Д16, АМг, АМц и др.) изготавливают толщиной 0,3—10, шириной 400—2000 и длиной 2000—4000 мм, а ленты толщиной 0,3—2 и шириной до 300 мм. Из алюминия и его сплавов изготавливают фольгу: пищевую толщиной 0,01—0,1 и шириной 40—500 мм и техническую толщиной 0,05—0,2 и шириной 10—600 мм.

Из титана и его сплавов прокатывают листы толщиной 0,3 и более и шириной до 1220 мм. Листы, полосы и ленты изготавливают в большом количестве из меди и ее сплавов (латунь, бронза), никеля и его сплавов (мельхиор, нейзильбер) и др.

Кроме листов, полос и лент, из цветных металлов и их сплавов изготавливают сортовой прокат (прутки круг-

лого, квадратного и другого сечения, проволочную заготовку — катанку, тавровые, двутавровые балки, уголки и пр.), а также трубы. Прокатка сортовых профилей обычно производится на станах с линейным расположением клетей, а также на полунепрерывных станах.

Трубы изготавливают путем холодной прокатки, при этом применяется то же оборудование, что и при холодной прокатке стальных труб.

В качестве исходной заготовки для холодной прокатки труб из цветных металлов и сплавов применяют прессованные трубы.

12. БЕССЛИТКОВАЯ ПРОКАТКА

В решениях XXIV съезда КПСС обращено внимание на развитие совместной разливки и прокатки полуфабрикатов из цветных металлов и сплавов. Внедрение бесслиткового проката упрощает и удешевляет процесс получения различных изделий (листов, полос, лент, проволоки и т. д.), так как исключается отливка слитков в изложницах и подготовка заготовок к прокатке. На рис. 120 показана принципиальная схема бесслитковой прокатки.

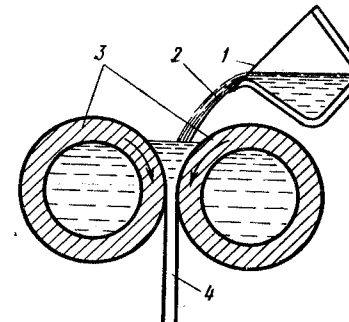


Рис. 120. Схема бесслитковой прокатки:

1 — ковш с жидким металлом; 2 — желоб; 3 — прокатные валки, охлаждаемые водой; 4 — полученное изделие

Глава IV

ВОЛОЧЕНИЕ МЕТАЛЛА

1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ

Волочением называется процесс обработки металлов давлением, при котором заготовка протаскивается через отверстие волокни, размеры которого меньше размеров сечения исходной заготовки. В результате волочения получается изделие с постоянным сечением по всей длине.

При волочении площадь поперечного сечения заготовки уменьшается и за счет этого увеличивается ее длина. Степень деформации металла при волочении характеризуется величиной коэффициента вытяжки μ или величиной коэффициента обжатия ψ , определяемых по формулам:

$$\mu = \frac{l_1}{l_0} = \frac{F_0}{F_1} = \frac{d_0^2}{d_1^2}; \quad \psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\%,$$

где l_0 и l_1 , F_0 , F_1 и d_0 , d_1 — соответственно величины длин, поперечных сечений и диаметров исходной заготовки и полученного изделия.

Коэффициент вытяжки за один проход принимают 1,2—1,6, а суммарный 1,7—6,5. Обжатие составляет за проход 16—40%, а суммарное 40—85%. При волочении в качестве основного показателя деформации чаще всего пользуются коэффициентом обжатия.

Усилие волочения зависит от многих факторов и в первую очередь от свойств и состояния обрабатываемого металла, форм и состояния инструмента, условий трения и т. д. При приближенных расчетах величину усилия волочения можно определить по формулам:

для волочения прутков

$$P = pF_1 \ln \frac{F_0}{F_1} (1 + f \operatorname{ctg} \alpha),$$

для волочения труб

$$P = pF_1 \ln \frac{F_0}{F_1} \left(1 + \frac{f}{\sin \alpha \cos \alpha} + \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} \right),$$

где p — сопротивление металла деформации;
 F_0 и F_1 — соответственно сечение протягиваемой исходной заготовки и полученного прутка или трубы;

f — коэффициент трения (обычно $f=0,05 \div 0,1$);

α — полуугол рабочего конуса.

Сопротивление металла деформации определяется из формулы

$$p = 0,25\sigma_{B_0} + 0,75\sigma_{B_1},$$

где σ_{B_0} и σ_{B_1} — предел прочности металла до и после протяжки.

Во избежание обрыва обрабатываемого металла при волочении напряжение натяжения в вытягиваемом его конце не должно превышать его условного предела текучести $\sigma_{0,2}$.

Напряжение волочения определяется из формулы

$$\sigma_{н.в} = \frac{P}{F_1},$$

где P — усилие волочения;

F_1 — площадь поперечного сечения профиля (прутка) после его выхода из волоки.

Для нормального протекания процесса волочения необходимо, чтобы $\sigma_{н.в} = (0,5-0,7)\sigma_{0,2}$.

Волочением изготавливают прутки, проволоку, тонкостенные трубы, фасонные профили и т. п. из стали, цветных металлов и их сплавов. Волочение применяют также для калибровки, т. е. для придания точных размеров и чистой поверхности горячекатаному металлу (сортовому и трубам). Волочение производится в холодном состоянии; при этом повышается прочность металла, а вязкость (удлинение) уменьшается.

2. ВОЛОЧИЛЬНЫЕ СТАНЫ И ВОЛОКИ

Волочение производят на волочильных станах, которые по принципу работы подразделяются на две группы: 1) с прямолинейным движением тянущих устройств (цепные, ресные, винтовые) и 2) с круговым движением протягиваемого металла (барабанные).

Волочильный стан состоит из двух основных частей: матрицы (волоки) и тянущего устройства. Через фильеру при помощи тянущего устройства протягивается заготовка.

На станах с прямолинейным движением изготавливают прутки, профили и трубы (рис. 121). На станах с круговым движением производится волочение проволоки и труб малого диаметра с одновременным наматыванием их на барабаны в бунты. Волочильные прямолинейные станы бывают однопрутковые и многопрутковые, когда одновременно производится волочение нескольких прутков. Усилия волочения у цепных станом достигают 150—600 т, а скорость волочения 20—50 м/мин.

Барабанные станы делятся на станы однократного

волочения, где заготовка проходит одну фильеру, и многократного волочения, где заготовка проходит последовательно через несколько фильер (2—15 и более) с уменьшающимся сечением отверстий.

На станах однократного волочения в основном изготовляют толстую проволоку диаметром от 0,4 до 8 мм, а

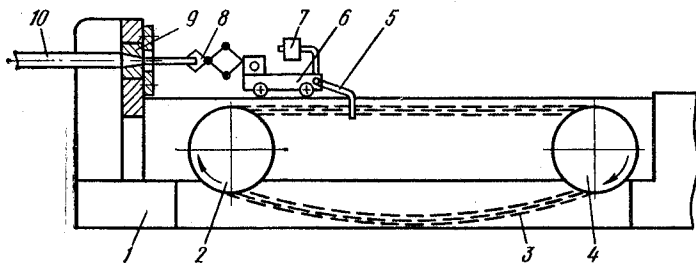


Рис. 121. Принципиальная схема цепного волочительного стана прямолинейного типа:

1 — станина; 2 и 4 — цепные барабаны; 3 — шарнирно-пластинчатая цепь; 5 — крюк; 6 — тележка; 7 — противовес; 8 — зажимное приспособление (клевцы); 9 — волока; 10 — пруток

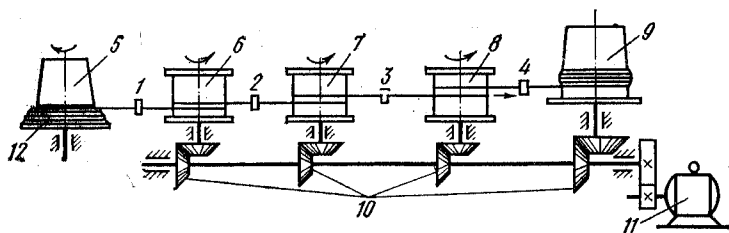


Рис. 122. Схема барабанного стана многократного волочения:

1—4 — волоки; 5 — холостой барабан; 6—8 — тяговые барабаны; 9 — приемный барабан; 10 — конические шестерни; 11 — двигатель с редуктором; 12 — бунт проволоки

проволоку меньшего сечения производят на станах многократного волочения (рис. 122). Тяговые барабаны приводятся во вращение от привода, состоящего из электродвигателя, редуктора и конических шестерен. В связи с тем что с уменьшением сечения проволоки увеличивается ее длина, число оборотов от первого к последующему барабану возрастает. Скорость волочения достигает 900 м/мин и более.

В настоящее время вместо цепных станов получили большое применение гидравлические, у которых перемещение клещей, тянущих заготовку, производится с помощью гидравлического цилиндра. На этих станах процесс волочения происходит более плавно и обрывов заготовок почти не бывает.

Волока (рис. 123) состоит из двух частей — собственно волоки 1 и обоймы 2. Волока имеет входной конус (распушка) I, необходимый для введения заготовки в волоку, смазочную часть II, рабочий или деформирующий конус III, в котором заготовка обжимается, калибрующую зону IV и выходной конус V. Угол деформирующего конуса 2α при волочении прутков принимается

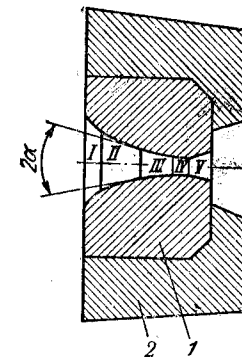


Рис. 123. Продольный разрез волоки

6—18°, в зависимости от свойств металла и вида изделия, а при волочении труб 10—24°. Чем меньше твердость металла, тем больше угол рабочего конуса.

Волоки изготовляют из инструментальных сталей У8—У12, из стали марок ШХ15, Х12М, из твердых сплавов ВК2, ВК3, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15, а для получения проволоки диаметром менее 0,3 мм — из алмаза.

3. ОСОБЕННОСТИ ВОЛОЧЕНИЯ ТРУБ И ДРУГИХ ПОЛЫХ ПРОФИЛЕЙ

Волочение труб и полых фасонных профилей производится на цепных трубоволочительных станах. На рис. 124 представлена схема протяжки трубы на длинной оправке. Процесс волочения заключается в следующем: в трубную заготовку 1, протягиваемую через волоку 2, вставляется длинная оправка 4, свободный конец которой закреплен в кронштейне. При протяжке заготовка 1 деформируется как по внутренней поверхности, так и по наружной, образуя трубу 3 заданных размеров. Скорость волочения труб составляет 0,1—0,2 м/с. Исходной заготовкой для изготовления труб фасонного профиля служат трубы круглого сечения. Необходимый, например,

гофрированный профиль труба приобретает за счет неоднократного протягивания ее через волокна с отверстиями, обеспечивающими постепенное изменение формы. Трубы могут изготавливаться квадратные, прямоугольные, многогранные и других профилей.

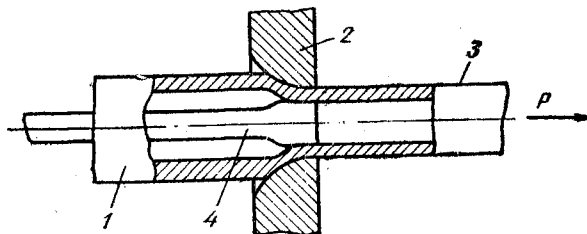


Рис. 124. Схема волочения труб

4. ПРОИЗВОДСТВО ПРОВОЛОКИ, ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ И ДРУГИХ ИЗДЕЛИЙ

Процесс волочения проволоки и тонкостенных труб состоит из следующих операций.

1. *Подготовка заготовки к волочению*: удаление окалины (травление в водных растворах кислот, промывка и сушка при 300—350° С), нанесение на сухую поверхность смазки (минеральное масло, мыло, графит и пр.).

2. *Установление режима волочения*: режим волочения устанавливают исходя из суммарной вытяжки или суммарного обжатия, числа проходов, имеющегося оборудования, количества частных вытяжек или обжатий, размеров протягиваемой заготовки по проходам, скорости волочения.

Частные вытяжки (обжатия) по проходам распределяют следующим образом: первое обжатие дается небольшое, чтобы обеспечить хорошее закрепление смазки на протягиваемой заготовке, затем обжатие увеличивают, а в последних проходах снижают.

Степень обжатия и скорость волочения зависят от свойств металла и материала волокна, размеров и профиля получаемого изделия.

Получение проволоки ($d=2$ мм) может быть осуществлено на стане многократного волочения типа 6/550 (здесь — цифра 6 означает число волок, 550—

диаметр тягового барабана, мм) со скоростью волочения 400—600 м/мин. При среднем частном обжатии 25% можно принять шесть частных обжатий (по числу волок): 15—20—25—25—25—20%, что соответствует маршруту волочения 4,2→3,87→3,46→3,0→2,6→2,25→2,0 мм.

3. *Отделка изделий после волочения* состоит из удаления дефектов, правки, резки на мерные длины, маркировки, смазки или поверхностного защитного покрытия и упаковки.

5. КАЛИБРОВАНИЕ

Если изделия (прутки, проволока, полосы, трубы) должны иметь точные размеры и чистую гладкую поверхность, их подвергают калиброванию, т. е. протягиванию через волоку с калибрующим отверстием нужного размера при небольшом обжатии.

Глава V

ПРЕССОВАНИЕ МЕТАЛЛА

1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ

Прессованием называется процесс обработки металлов давлением путем выдавливания его пуансоном из контейнера через отверстие в матрице. При этом металл принимает форму, соответствующую конфигурации отверстия в матрице — круглую, квадратную и другую.

Больше всего прессование применяют для получения изделий из цветных металлов и их сплавов.

Величину степени обжатия заготовки ψ при прессовании определяют по формуле

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%,$$

где F_0 — сечение заготовки;
 F_1 — сечение полученного профиля.

Для получения прессуемых изделий хорошего качества степень обжатия должна составлять 80—95%.

При прессовании различают две скорости — скорость истечения металла через отверстие матрицы и скорость движения пуансона в контейнере. Скорость истечения зависит от пластичности металла и определяется по формуле

$$v_{ис} = \mu v_{пр},$$

где $v_{пр}$ — скорость прессования
и μ — коэффициент вытяжки.

При прессовании прутков и труб небольших размеров при $\mu > 30$ скорость истечения принимают равной: для

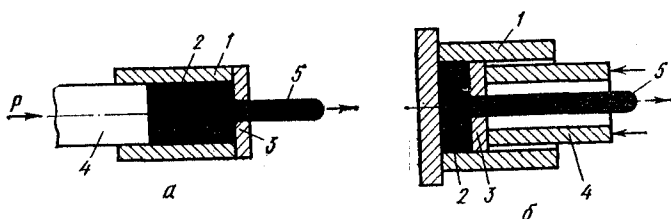


Рис. 125. Схемы прямого (а) и обратного (б) прессования

дуралюмина марок Д1, Д16 и др. 5—10 см/с, алюминия, меди и ее сплавов — до 100 см/с и т. д. Превышение указанных скоростей приводит к образованию поперечных трещин и разрывов. Применяется два основных метода прессования металла — прямой и обратный (рис. 125).

2. ПРЯМОЙ МЕТОД ПРЕССОВАНИЯ

При прямом прессовании направление течения прессуемого металла совпадает с направлением движения пуансона. Процесс прямого прессования (рис. 125, а) состоит в следующем: заготовка (слиток) 2, нагретая до заданной температуры или в холодном состоянии, помещается в контейнер 1 и выдавливается из него пуансоном 4 через отверстие матрицы 3, в результате чего образуется изделие 5. В конце прессования в контейнере остается небольшая часть металла (18—20% от массы заготовки), называемая прессостатком, которая не используется для получения изделия. С учетом отходов

металла при отделке заготовки и полученного изделия, а также пресс-остатка выход годной продукции при прессовании составляет 75—80%.

3. ОБРАТНЫЙ МЕТОД ПРЕССОВАНИЯ

При обратном методе прессования металла (рис. 125, б) в контейнер 1 входит полый пуансон 4 с матрицей 3, прикрепленной к его концу. В процессе движения пуансона 4 матрица 3 давит на помещенную в контейнер заготовку 2, в результате чего металл выжимается через отверстие матрицы в направлении, обратном движению пуансона; при этом образуется изделие 5. Обратный метод прессования, по сравнению с прямым, более экономичен, так как уменьшаются отходы металла на 5—6% и снижаются усилия прессования металла примерно на 25% за счет отсутствия трения металла слитка о стенки контейнера. Однако из-за сложности конструкции пресса этот метод имеет ограниченное применение.

4. ОСОБЕННОСТИ ПРЕССОВАНИЯ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ

При прессовании полых изделий (труб) к торцу прессовой шайбы 6 (рис. 126) крепится стальная игла 4, диаметр которой равен внутреннему диаметру изготавливаемой трубы. При прессовании заготовка 5, помещенная в контейнер 1, сначала прошивается иглой 4, которая выходит на некоторое расстояние из отверстия матрицы 2. При этом образуется кольцевой зазор между отверстием матрицы и иглой. Металл заготовки при движении пуансона выдавливается через кольцевой зазор и принимает форму трубы 3, наружный диаметр которой равен диаметру отверстия матрицы 2, а внутренний — диаметру иглы 4.

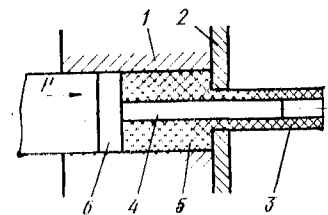


Рис. 126. Схема прессования труб прямым методом

Трубы изготавливают только прямым методом прессования.

5. ИСХОДНЫЕ ЗАГОТОВКИ, МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ, ПОДВЕРГАЕМЫЕ ПРЕССОВАНИЮ

Исходными заготовками для прессования прутков и различных профилей являются слитки диаметром 60—500 и длиной 100—1000 мм. Размеры слитка определяются в зависимости от профиля изделия и мощности пресса. Для прессования труб применяют сплошные слитки и слитки с центровым отверстием (равным диаметру иглы), полученным при литье. Для прессования применяются: алюминий, медь, титан, цинк, свинец, олово, магний и их сплавы, а также стали и жаропрочные сплавы.

6. ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ

Для изготовления изделий методом прессования в промышленности получили наибольшее распространение гидравлические прессы прямого прессования с горизонтальным или вертикальным расположением пуансона и контейнера. Горизонтальные прессы по назначению в свою очередь подразделяют на прутковые и трубные.

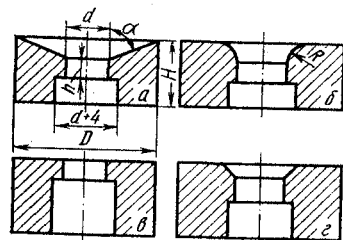


Рис. 127. Основные типы матриц, применяемых при прессовании:

a — конические; *б* — радиальные;
в — плоские; *г* — плоско-конические

Современные гидравлические прессы оборудованы специальным автоматическим устройством, обеспечивающим постоянную скорость прессования, что очень важно при получении изделий из различных сплавов, так как в этом случае обеспечивается стабильность механических свойств по длине изделия и повышается производительность прессы.

К основным инструментам прессования относятся: матрица, пресс-шайба, матрицедержатель, пуансон, контейнер с втулкой, а также игла и иглодержатель (при прессовании труб). К инструменту предъявляются следующие требования: стойкость и жаропрочность при работе в условиях высоких температур (800—1200°С) и зна-

чительных нагрузок. Поэтому инструмент изготавливают из легированных сталей и сплавов (3Х2В8, 5ХНМ, 4ХВ2С, 4ХН14В, 38ХМЮА и др.). Из перечисленного инструмента в наиболее тяжелых условиях работают матрицы. На рис. 127 приведены основные типы матриц, применяемые при прессовании: конические *a*, радиальные *б*, плоские *в* и плоско-конические *г*. Конические и радиальные матрицы применяют главным образом при прессовании прутков и труб из тяжелых цветных металлов и их сплавов, а плоские и плоско-конические для прессования прутков и различных профилей из алюминия и его сплавов как обеспечивающих хорошее качество поверхности изделий.

Главным параметром, определяющим форму матрицы, является угол конусности α (полуугол матрицы), обычно он принимается равным 60—65°. Следующий за конусом калибрующий пояс *d* может иметь цилиндрическую или фасонную форму в зависимости от конфигурации получаемого изделия. Высота калибрующего пояса *h* выбирается в пределах 8—12 мм для тяжелых металлов и их сплавов и 4—8 мм — для легких. Высоту и диаметр матрицы принимают в зависимости от усилия прессования.

Для меди, алюминия и других сплавов цветных металлов (Л62, Л68, ЛС59-1, АМц и др.) коэффициент вытяжки достигает 500—700.

7. ИЗГОТОВЛЯЕМЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Прессованием можно изготавливать прутки диаметром 5—300 мм, трубы с внутренним диаметром 18—350 и толщиной стенки 1,25—50 мм и различные профили.

Изделия, получаемые прессованием, превосходят по точности, разнообразию и сложности изделия, получаемые прокаткой.

Глава VI

СВОБОДНАЯ КОВКА МЕТАЛЛА

1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА СВОБОДНОЙ КОВКИ

Свободной ковкой называется процесс обработки давлением, при котором перемещающиеся слои металла не встречают сопротивления своему движению.

Процессковки осуществляется последовательными ударами кувалды, бойка молота или нажимами бойка пресса с применением различного инструмента. В литом металле дендритная структура послековки превращается в волокнистую, а в катаном уже существующая волокнистая структура улучшается. Изменения структуры и свойств металла приковке во многом зависят от его первоначальной структуры и свойств, от температурного режимаковки и от степени его обжатия (уковки). Металл, подвергаемыйковке, как правило, нагревают.

2. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ СВОБОДНОЙ КОВКИ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИМЕНЯЕМЫЙ ИНСТРУМЕНТ

К основным операциям свободнойковки относятся: осадка 1, высадка 2, протяжка 3, раскатка 4, прошивка 5 и 6, рубка 7 и 8, гибка 9 и 10, сварка 11 и кручение 12 (рис. 128).

При осадке уменьшается высота и увеличивается за счет этого площадь поперечного сечения заготовки. Во избежание продольного изгиба осаживаемой заготовки ее

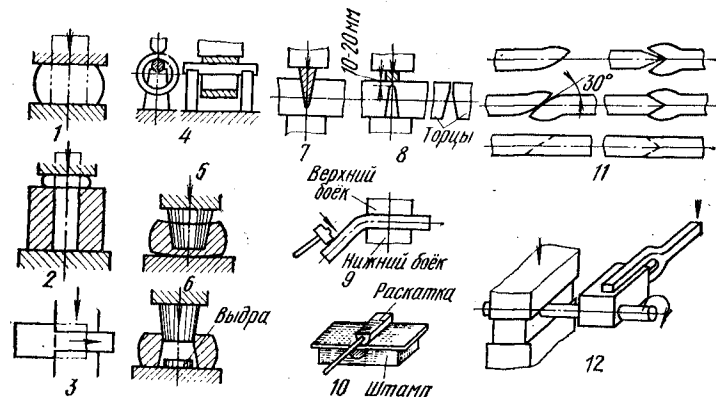


Рис. 128. Схемы основных операций свободнойковки

высота должна быть не более 2,5 диаметров или толщин. Стремление при осаживании заготовок квадратного и прямоугольного сечения превратиться в круглое харак-

терно для любой формы сечения. Это положение называют правилом наименьшего периметра при осаживании. Степень обжатия металла при осадке характеризуется коэффициентом уковки, который определяется по формулам:

$$K_H = \frac{H}{h}$$

или

$$K_H = \frac{F_K}{F_H}$$

где K_H — коэффициент уковки, H — исходная высота заготовки;

h — высота заготовки после осадки;

F_H — площадь поперечного сечения исходной заготовки;

F_K — площадь поперечного сечения заготовки после осадки.

Величину коэффициента уковки при изготовлении ответственных поковок принимают равной 3—5, а иногда и больше.

Осадка, производимая на части заготовки, называется высадкой.

Протяжку (вытяжку) применяют для увеличения длины заготовки, за счет уменьшения ее толщины. Процесс протяжки осуществляют последовательными обжатиями с подачей заготовки и поворотом ее вокруг оси. Обычно величину подачи принимают равной 0,4—0,8 ширины бойка.

При вытяжке коэффициент уковки определяется из формул:

$$K = \frac{l_K}{l_H} \text{ или } K = \frac{F_H}{F_K}$$

где l_K и l_H — соответственно конечная и исходная длина заготовки,

F_H — исходная (доковки) и F_K — конечная (послековки) площадь сечения поковки.

За каждое обжатие коэффициент уковки составляет примерно 1,2—1,3. В качестве основного рабочего инструмента при осадке и вытяжке применяют бойки.

Прошивку применяют для изготовления отверстия в заготовке при помощи прошивня. После прошивки полученная заготовка либо калибруется до заданных размеров отверстия, либо подвергается раскатке.

Раскатка применяется для увеличения диаметра кольцевой заготовки путем обжатия при непрерывном ее поворачивании на специальной оправке, в результате чего увеличивается диаметр кольца.

Гибка применяется для придания заготовке определенных контура. Ее осуществляют в специальных штампах на гибочных машинах.

Кручение состоит в повороте одной части заготовки относительно другой на заданный угол вокруг ее оси, для чего применяют специальное приспособление.

Кузнечная сварка заключается в соединении между собой заготовок внахлестку, вразруб, встык. Сварка производится при температуре 1300—1400°С путем проковки заготовок в месте соединения и последующей отделки. Рубка применяется для разделения большой по размерам заготовки на несколько частей меньших размеров, а также для удаления концов поковки. Рубку производят при помощи кузнечных топоров и зубил и обычно осуществляют в два приема. Вначале заготовку надрубляют топором, затем перевортывают на 180° и с помощью квадрата отсекают надрубленную часть.

3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВОБОДНОЙ КОВКИ

Свободная ковка подразделяется на ручную и машинную.

Ручную ковку ведут на наковальне с помощью кувалд и различного подкладного кузнечного инструмента. Машинную ковку производят на ковочных молотах и прессах. Ковочные молоты применяются пневматические для изготовления мелких поковок и паро-воздушные для производства средних поковок. Крупные тяжелые поковки куют на ковочных прессах.

Ковочный молот имеет падающие части, состоящие из бабы и прикрепленного к ней снизу верхнего бойка. Заготовка кладется на нижний боек, закрепленный в шаботе, и куется путем нанесения ударов верхним бойком по поковке.

Энергия удара падающих частей молота определяется по формуле

$$E = \frac{Qv^2}{2g},$$

где Q — масса падающих частей;
 v — скорость падающих частей в момент удара;
 g — ускорение силы тяжести.

Работу деформации при каждом ударе верхнего бойка по поковке можно найти из формулы

$$A = K_{уд} E,$$

где $K_{уд}$ — коэффициент полезного действия удара, который тем больше, чем значительнее масса шабота по сравнению с массой падающих частей.

Обычно масса шабота бывает примерно в 15 раз больше массы падающих частей. В этом случае $K_{уд} = 0,8 \div 0,9$.

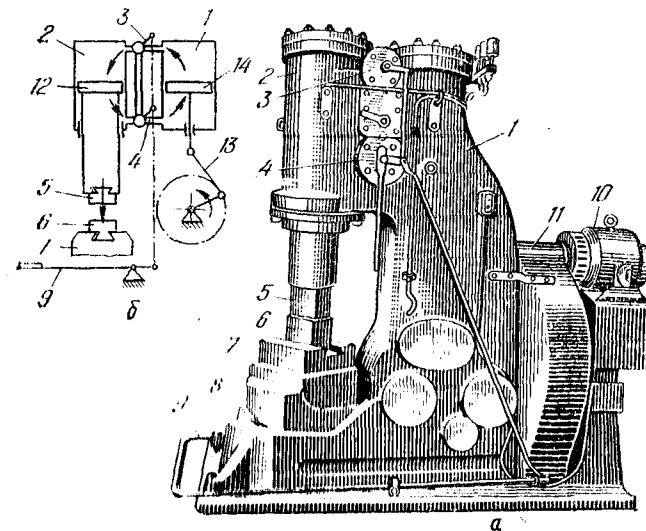


Рис. 129 Пневматический ковочный молот:
 а — общий вид; б — кинематическая схема

Пневматический ковочный молот (рис. 129) имеет два цилиндра: компрессорный 1 и рабочий 2. Поршень 14 в компрессорном цилиндре приводится в возвратно-по-

ступательное движение кривошипно-шатунным механизмом 13 от электродвигателя 10 через редуктор 11 и служит для нагнетания сжатого воздуха, приводящего в движение рабочий поршень 12. Сжатый воздух поступает в рабочий цилиндр попеременно снизу и сверху, заставляя тем самым «бабу» молота то подниматься, то опускаться и наносить удары по поковке, расположенной на нижнем бойке 6.

Молот управляется воздушными клапанами 3, расположенными в каналах 4, соединяющих цилиндры. Клапаны открываются и закрываются при помощи педали 9 (ножное управление) или при помощи рукоятки (ручное управление). Управление пневматического молота устроено так, что баба может нанести по поковке один удар или автоматически подряд несколько ударов, а также может удерживаться на весу или прижимать поковку к нижнему неподвижному бойку. Верхний боек 5 прикреплен к бабе молота, а нижний 6 — к подушке 7, установленной на массивном металлическом основании — шабате 8, покоящемся на собственном фундаменте и со станиной молота не связанный. Пневматические молоты имеют массу падающих частей от 50 кг до 1 т. Число ударов молота составляет от 70 до 190 в мин. Паро-воздушные молоты подразделяются на молоты простого и двойного действия. У молотов простого действия пар или воздух служат только для подъема падающих частей. Молоты этого типа применяются редко. У ковочных молотов двойного действия пар или воздух служит не только для подъема падающих частей, но и для дополнительного давления на поршень при падении бабы, что позволяет значительно увеличить энергию удара молота. Заготовки нагревают до 1000—1200°С и затем подают к прессу дляковки.

Ковочный пресс подбирают по усилию, необходимому для деформирования заготовки, которое определяют по формуле

$$P = p_1 F,$$

где p_1 — удельное давление при деформировании металла;

F — поперечное сечение поковки.

Удельное давление при разных кузнечных операциях различно.

Изготовленные поковки очищают и подвергают термической обработке (отжиг или нормализация).

Выходом годного металла K_r при свободной ковке называется отношение массы партии готовых поковок G_n к массе исходного металла заготовок G_z , выраженного в процентах

$$K_r = \frac{G_n}{G_z} 100\%.$$

Выход годного металла при изготовлении поковок из слитков на прессах не превышает 60%, а из проката на молотах достигает 90%. Об эффективности изготовления поковок можно судить также по расходному коэффициенту K_p , который определяется по формуле

$$K_p = \frac{1}{K_r}.$$

Расходный коэффициент при получении поковок из проката составляет не менее 1,2, а из слитков — не менее 1,7.

Коэффициентом использования металла K_u называют отношение массы готовой детали к массе заготовки

$$K_u = \frac{G_d}{G_z}.$$

Этот коэффициент учитывает все потери при изготовлении деталей, начиная от заготовки и кончая получением готовой детали и составляет 0,3—0,5.

Паро-воздушные ковочные молоты имеют массу падающих частей от 0,5 до 5 т и работают с применением пара или воздуха под давлением 6—9 ат.

Гидравлические ковочные прессы (рис. 130) применяют для изготовления главным образом крупных поковок. В этих прессах в качестве рабочей жидкости применяют водные эмульсии и минеральные масла под давлением 200—400 ат. Изготавливают прессы с номинальным усилием 200—1500 тс.

При изготовлении поковок из слитков масса отходов составляет 25—35% от массы слитка. Угар составляет 2—3% от массы слитка или заготовки при каждом нагреве и 1,5—2% при каждом последующем подогреве. Массу обсечек принимают: для простых поковок 5—8%, а для

сложных (коленчатые валы) 20—30% от массы заготовки.

После определения массы заготовки устанавливают ее форму и размеры, исходя из чертежа поковки.

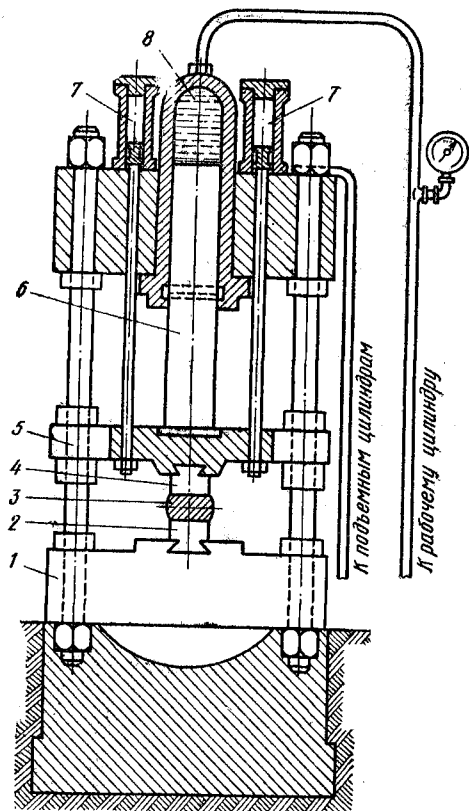


Рис. 130. Схема гидравлического пресса:
1 — фундаментальная плита; 2 — нижний блок;
3 — заготовка; 4 — верхний блок; 5 — подвижная траверса (поперечина); 6 — плунжер; 7 — подъемные цилиндры; 8 — рабочий (прессующий) цилиндр

Разработка технологического процесса изготовления поковки состоит из разработки чертежа поковки и технологической карты.

Рабочий чертеж поковки делают по чертежу готовой детали с учетом припусков на механическую обработку, допусков на номинальные размеры поковки (на точность изготовления поковки) и напусков. Прежде всего вычер-

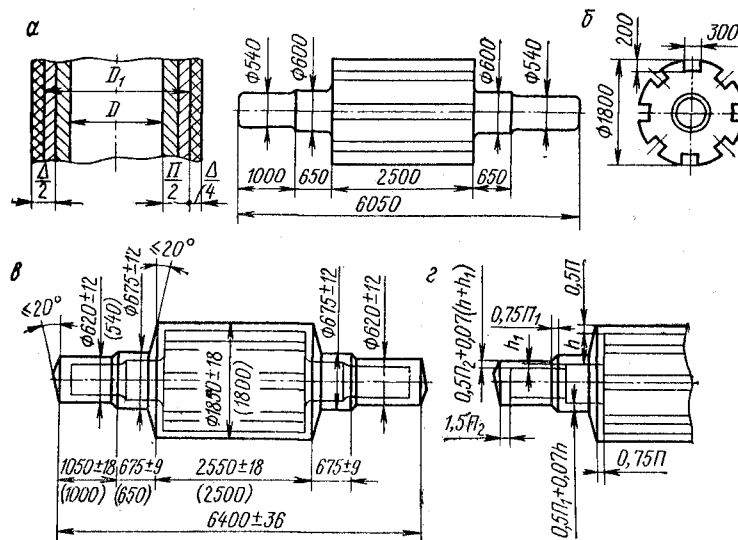


Рис. 131. Пример составления чертежа поковки роторного вала, имеющего пазы дляковки на прессе:

а — схема распределения припуска (P) и допуска (Δ); D — номинальный диаметр детали; D_1 — номинальный размер поковки; $\Delta/2$ — отклонения от номинального размера поковки; б — чертеж роторного вала с пазом; в — чертеж поковки роторного вала; г — расчет и распределение припусков

чивают тонкими линиями контур готовой детали. Потом после установления необходимых напусков по ГОСТу принимают соответствующие припуски и допуски. Затем вокруг контура детали наносят жирными линиями контур поковки, после чего проставляют на чертеже размеры и допуски. Пользуясь чертежом поковки, подбирают для ее изготовления заготовку.

На рис. 131 дан пример составления чертежа поковки на основании чертежа готовой детали с указанием припусков, допусков и напусков.

Припуском называется предусмотренное превышение размеров поковки против номинальных размеров детали, обеспечивающее после обработки резанием указан-

ные на чертеже размеры детали и чистоту ее поверхности.

Допуском называется разность между наименьшим и наибольшим предельными размерами поковки.

Напуск это увеличение припуска, упрощающее конфигурацию поковки из-за невозможности или нерентабельности изготовления поковки по контуру детали.

Допуски и припуски зависят от размеров поковки, ее конфигурации, материала и рода заготовки (слиток, прокат), от способа обработки давлением и типа применяемого оборудования. Припуски и допуски на стальные поковки, изготавливаемые на прессах, и на поковки, изготавливаемые на молотах, принимают по ГОСТу. На рис. 131, а даны припуски и допуски при составлении чертежа поковки роторного вала дляковки на прессе. Так как пазы на роторном валу (рис. 131, б) выполнить свободной ковкой невозможно, то чертеж поковки (рис. 131, в) делается с учетом в этих местах напусков.

4. ИСХОДНЫЕ ЗАГОТОВКИ И ИЗГОТОВЛЯЕМЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Для изготовления поковок применяются слитки, а также катаные и прессованные заготовки из стали и цветных металлов. Слитки применяют многогранные и цилиндрические.

Свободной ковкой изготавливают небольшие партии различных по форме и габаритам поковок массой от нескольких сот граммов до 350 т и более.

Глава VII

ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА МЕТАЛЛА

1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Объемную штамповку металла производят в штампах, состоящих обычно из двух половин, которые в собранном виде создают одну или несколько внутренних полостей, называемых ручьями. При этом течение металла при деформации ограничивается стенками внутренней полости штампа. Получаемые изделия различной конфи-

гурации отличаются высокой точностью размеров, хорошим качеством поверхности и небольшими припусками и допусками.

2. ВИДЫ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Объемную штамповку металла подразделяют на горячую и холодную. Поскольку пластичность металла в горячем состоянии больше, чем в холодном, то для изготовления одного и того же изделия требуется приложить меньшее усилие. И тот и другой вид объемной штамповки применяются в массовом производстве. Холодной штамповкой изготавливают небольшие поковки, а горячей — более крупные массой до 450—500 кг. При горячей объемной штамповке основным исходным материалом является сортовой прокат из стали, цветных металлов и их сплавов. Технологический процесс горячей объемной штамповки в общем случае складывается из следующих операций: 1) разделка проката на мерные заготовки (определенной массы и размеров); 2) загрузка в печь и нагревание заготовок до определенной температуры (900—1200°С для стали); 3) укладка заготовки на нижнюю половину штампа и штамповка; 4) удаление из штампа полученной поковки; 5) термическая обработка поковок; 6) обрубка облоев и отделка.

Указанные операции по получению поковок производятся в соответствующих отделениях: заготовительном, штамповочном, термическом и отделочном.

3. ШТАМПЫ

Штампом называется металлическая разъемная форма, состоящая из двух частей (половин), внутри которой имеется полость, называемая ручьем; штампы изготавливают из сталей марок 5Х11В, 5ХНМ, 5ХГМ, 3Х2В8Ф и др. Каждый штамп предназначен для получения поковок определенной конфигурации, размера и массы.

Штампы подразделяются на открытые и закрытые (рис. 132).

Открытыми штампами (рис. 132, а) называют такие, у которых вокруг всего внешнего контура штамповочного ручья имеется специальная облойная канавка, соединенная тонкой щелью с полостью, образующей поковку.

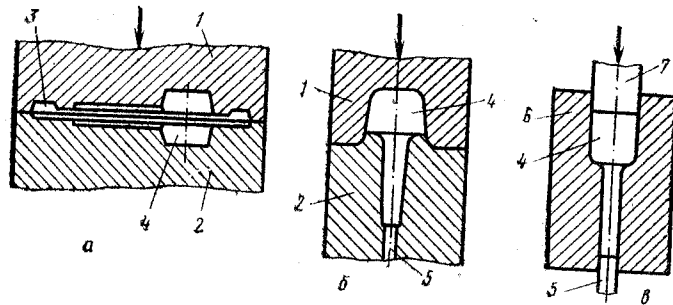


Рис. 132. Схемы штамповки поковок:

a — в открытом штампе (с облоем); *б* — в закрытом штампе (без облоя, вариант 1); *в* — закрытом штампе (без облоя, вариант 2); 1 — верхняя половина штампа; 2 — нижняя половина штампа; 3 — облой; 4 — поковка; 5 — выталкиватель; 6 — штамп (матрица); 7 — нуансон

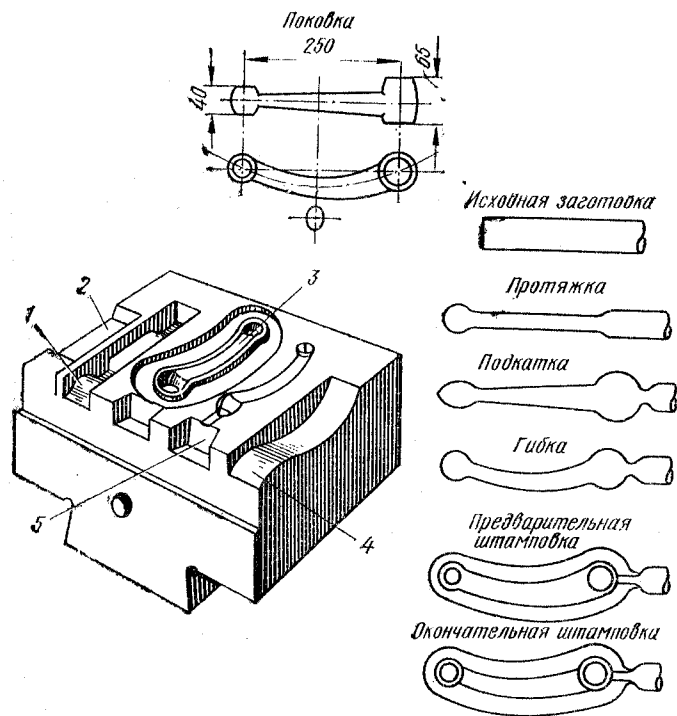


Рис. 133. Многоручьеv штамп для штамповки поковки ручага из прутка и технологические переходы:
1 — подкатной ручей; 2 — протяжной ручей (куда вначале постукает нагретая заготовка); 3 — предварительный (черновой) штамповочный ручей; 4 — гибочный ручей; 5 — окончательный (чистовой) штамповочный ручей

В процессе штамповки через щель в канавку вытесняется избыточная часть металла, образуя по контуру поковки облой. Это приводит к некоторому увеличению отходов металла, но зато упрощает процесс штамповки. Облой с поковки затем обрезается при помощи особых штампов.

Закрытыми штампами (рис. 132, б, в) называют такие, в которых металл деформируется в замкнутом пространстве без образования облоя. При этом расход металла на изготовление поковки сокращается, а процесс получения годной поковки усложняется (требуются заготовки определенной массы). Закрытые штампы более перспективны, но в связи с тем, что они сложнее открытых, их применяют пока реже открытых.

В штампе может быть один или несколько ручьев.

Штампы с одним ручьем применяют для изготовления поковок простой формы, а поковки сложной конфигурации получают в многоручьевых штампах. Многоручьевые штампы (рис. 133) имеют заготовительные ручки (протяжные, подкатные, пережимные, гибочные и пр.), в которых производится подготовка заготовки к последующей операции штамповки, и штамповочные (черновые и чистовые) ручки, предназначенные для окончательного формирования поковки.

4. СОСТАВЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ПОКОВКИ ПО ЧЕРТЕЖУ ДЕТАЛИ

Чертеж поковки составляется с учетом припуска на механическую обработку и изменения всех размеров готовой детали на величину усадки (для стали усадка 1,2—1,5%). При составлении чертежа поковки необходимо:

- 1) выбрать на поковке плоскость разреза штампа;
- 2) установить припуски на механическую обработку и допуски на штамповку;
- 3) если в детали имеются отверстия, установить наметки отверстий под прошивку и толщину оставляемых пленок;
- 4) установить штамповочные уклоны и радиусы закруглений;
- 5) учесть удобства механической обработки поковки и т. п.

Плоскость разреза штампа должна выбираться с учетом следующих основных требований:

- 1) изготавливаемая поковка должна свободно выниматься из штампа;
- 2) контуры верхнего и нижнего штампов в плоскости разреза должны быть одинаковы, что облегчает контроль за смещением одной части поковки относительно другой;
- 3) плоскость разреза выбирается с учетом применяемого оборудования, имея в виду, что при штамповке на молоте металл легче течет вверх, чем вниз, что необходимо принимать во внимание при изготовлении ребристых деталей;
- 4) механическая обработка полостей штампа должна быть простой;
- 5) полости штампов должны иметь минимальную глубину;
- 6) плоскость разреза желательно иметь прямую, что упрощает изготовление штампа, его эксплуатацию и обрезку облоя у поковки.

Правильное установление припусков и допусков является необходимым условием получения годной поковки.

Припуски зависят от габаритов, массы и материала поковки, класса точности, а также от типа применяемого оборудования (молот или пресс) и принимаются по ГОСТу. Припуски в плоскости разреза штампа принимаются большими, чем по высоте, что связано с размерами поковки, которые по высоте обычно меньше, а также с возможным сдвигом половин штампа одной относительно другой.

Допуски — допустимые отклонения от номинальных размеров поковки — устанавливаются в связи с возможной недоштамповкой поковки по высоте, неполным заполнением штампа и его износом и т. д. Так как на допуск по высоте оказывает влияние недоштамповка поковки, то он берется по высоте несимметричным: верхнее отклонение берется примерно в два раза больше нижнего, в частности: верхнее отклонение (Δ_1) принимается $\Delta_1 = (0,7 \div 1,0)P$, а нижнее $\Delta_2 = (0,4 \div 0,6)P$, где P — припуск. Верхнее отклонение по горизонтали принимается в пределах $(0,6 \div 0,9)P$, нижнее $(0,5 \div 0,8)P$. Штамповочные уклоны α для штамповки стальных поковок принимаются от 3 до 10° (от $\pi/60$ до $\pi/18$ рад). Они зависят

от высоты поковки, ее ребер и выступов, формы боковой поверхности и процесса заполнения полости штампа металлом (выдавливание или осадка), а также от вида оборудования. На наружных поверхностях поковки вследствие усадки металла штамповочные уклоны принимаются меньшими, чем для внутренних. Места перехода поверхностей должны иметь плавные закругления, что способствует лучшему заполнению полости штампа металлом и

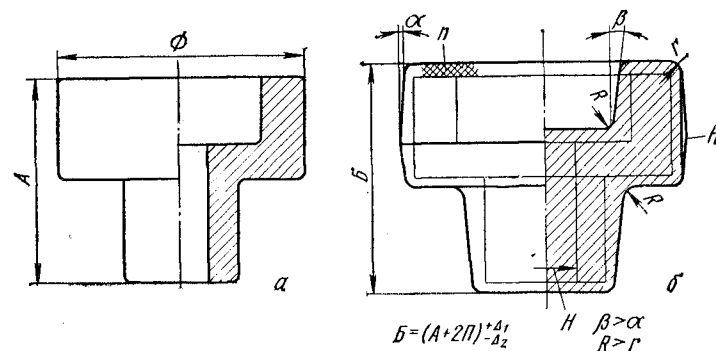


Рис. 134. Пример составления по чертежу детали (а) чертежа поковки (б): 1 — плоскость разреза; Δ — отклонения от номинального размера; H — напуск; P — припуск на механическую обработку; α и β — штамповочные (наружные и внутренние) уклоны; r , R — наружные и внутренние радиусы закруглений; A , D — номинальные размеры детали; B и D_1 — номинальные размеры поковки

предохраняет его от преждевременного износа. Радиусы закруглений зависят прямо пропорционально от глубины ручья штампа. Для внутренних углов радиус закругления принимается в 3—4 раза больше, чем для наружных углов, а размер последних колеблется от 1,0 до 6,0 мм.

Пример составления чертежа поковки показан на рис. 134.

При изготовлении поковок деталей, имеющих отверстия (шестерни и др.), для снижения расхода металла и уменьшения трудоемкости механической обработки в поковках при штамповке делают наметки в виде конических сквозных отверстий с оставлением перемычки (пленки), удаляемой последующей прошивкой. В виду того что выступы штампов, производящие наметки отверстий, работают в тяжелых условиях, при диаметрах отверстий менее 30 мм наметки в поковках не делается.

5. ШТАМПОВКА НА МОЛОТАХ

На молотах штампуют поковки в молотовых и подкладных штампах. В молотовых штампах производят поковки сложной формы, а в подкладных штампуют простые поковки. Для штамповки в молотовых штампах применяют паро-воздушные и фрикционные молоты.

Паро-воздушные штамповочные молоты по конструкции аналогичны паро-воздушным молотам, применяемым для свободнойковки. Их изготовляют с массой падающих частей от 0,63 до 16 т.

Фрикционные штамповочные молоты имеют меньшую массу падающих частей (0,5—1,5 т) и более сложную систему регулировки силы удара, поэтому применяются реже паро-воздушных.

6. ШТАМПОВКА НА КРИВОШИПНЫХ КОВОЧНО-ШТАМПОВОЧНЫХ ПРЕССАХ

Кривошипные ковочно-штамповочные прессы применяют для горячей штамповки более сложных и больших по массе поковок в одно- и многоручьевых штампах при серийном и массовом производстве. Их выпускают с усилием 630—8000 тс и числом ходов от 35 до 90 в минуту. Штампы обычно имеют верхние и нижние ручьевые вставки, вмонтированные в универсальном блоке. Заменяя вставки, можно штамповать различные поковки. Удаление из штампа поковки осуществляется выталкивателем. Это позволяет изготовлять поковки с меньшими штамповочными уклонами. Кроме того, на этих прессах, благодаря точному соединению половин штампа, при помощи направляющих колонок и втулок обеспечиваются меньшие припуски и допуски у поковок.

На рис. 135 показан кривошипный ковочно-штамповочный пресс (ККШП), предназначенный для горячей штамповки поковок в одно- и многоручьевых штампах. Этот пресс имеет кривошипный эксцентрикковый вал 4, перемещающий при помощи шатуна 5 ползун 6. Маховик 1 установлен на промежуточном валу 2 и приводится во вращение электродвигателем 3 при помощи клиноременной передачи. Промежуточный вал соединяется с кривошипным зубчатой передачей 7. Пуск кривошипно-шатунного механизма производится пневматической муфтой 8, кото-

рая управляется ножной педалью. Для затормаживания движения кривошипно-шатунного механизма после выключения пневматической муфты служит ленточный тормоз 9. Для удаления готовой поковки из штампа имеются механически действующие выталкиватели, установленные в ползуне (верхний) и в столе 10 (нижний) прессы.

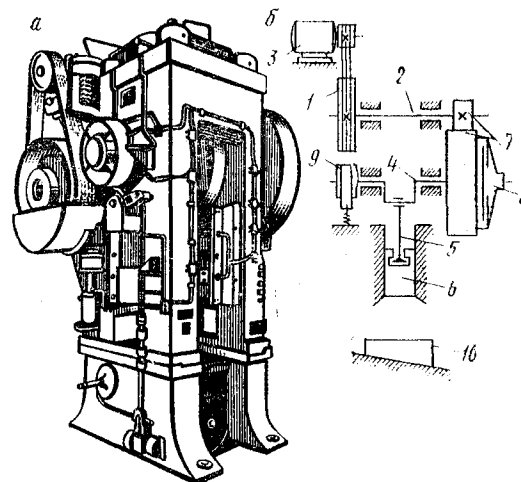


Рис. 135. Общий вид кривошипного ковочно-штамповочного прессы (а), его пневматическая схема (б)

Производительность кривошипных ковочно-штамповочных прессы примерно в 1,5 раза больше паро-воздушных штамповочных молотов. Благодаря ряду преимуществ горячая объемная штамповка на этих прессах может быть отнесена к числу наиболее прогрессивных технологических процессов. В современных кузнечных цехах эти прессы работают в поточных и автоматических линиях.

Для изготовления больших тяжелых штампованных поковок применяют гидравлические прессы, конструктивно схожие с ковочными и имеющими усилия до 70 тыс. тс.

7. ШТАМПОВКА НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНЫХ МАШИНАХ

Главным отличием горизонтально-ковочных машин (ГКМ) от рассмотренных выше кривошипных прессы является то, что боек движется не в вертикальном, а в го-

ризональном направлении. Кроме того, штампы этих машин состоят не из двух частей, а из трех. На таких машинах изготавливают поковки типа стержней с головками или утолщениями и изделия кольцеобразной формы. Исходными заготовками служат круглый, квадратный и прямоугольный прокат повышенной точности. Основным типовым процессом для ГKM является многоручьевая штамповка прутковой заготовки в закрытом штампе, состоящем из разъемной матрицы и пуансона. Обычно из одного прутка изготавливают несколько поковок.

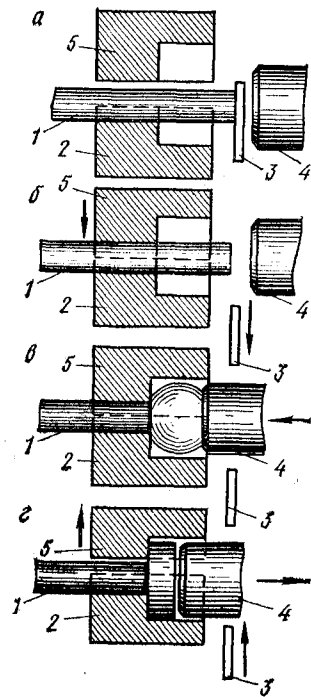


Рис. 136. Схема штамповки изделия на горизонтально-ковочной машине

На рис. 136 приведена схема штамповки изделия на ГKM. Пруток 1 нагретым концом подается в ручей неподвижной половины матрицы 2 до упора 3. Пуансон 4 в этот момент находится в правом крайнем положении (рис. 136, а). После этого подвижная половина матрицы 5 зажимает заготовку и при этом одновременно образует полость для деформации выступающей части прутка (рис. 136, б). В это время упор 3 автоматически отходит вниз. Затем включается пуансон; он движется справа налево и деформирует конец прутка (рис. 136, в), в результате чего образуется поковка заданной формы (рис. 136, г). После этого подвижная часть матрицы 5 и пуансон 4 отходят в исходное первоначальное положение, а пруток с поковкой переносят в следующий ручей, где их отделяют один от другого. Длина выступающего из зажимной части матриц прутка должна быть менее 2,5—3,0 его диаметров, так как при большей длине возможен изгиб заготовки. Горизонтально-ковочные машины имеют

высокую производительность (400—600 поковок в час). Усилие при штамповке изделий составляет 10—3000 тс.

Усилие, необходимое при штамповке на горизонтально-ковочных машинах, зависит от вида производимой операции и может быть определено по формуле

$$P = KF_n \sigma,$$

где K — коэффициент, зависящий от вида операций (при высадке $K=4$, при сквозной прошивке $K=1,7$);

F_n — площадь проекции поковки на плоскость, перпендикулярную направлению движения пуансона;

σ — предел прочности металла при температуре конца штамповки.

8. ДРУГИЕ ВИДЫ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Для горячей объемной штамповки применяют также винтовые фрикционные прессы, ковочные валцы, радиально-ковочные и горизонтально-гибочные машины.

На фрикционных прессах изготавливают небольшие поковки (болты, заклепки и т. п.) и при этом обычно применяют одноручьевые штампы, аналогичные простым открытым и закрытым молотовым штампам. Основным недостатком фрикционных прессов является низкая производительность.

Штамповка поковок на ковочных валцах (рис. 137) напоминает обычную продольную прокатку в одной рабочей клети, с той лишь разницей, что на валках валцов ручьи представляют собой не кольцевые пазы, а полости, выполненные по конфигурации поковки. Процесс изготовления поковки состоит в следующем: нагретая заготовка 1 с помощью клещей 2 подается до упора 3 в тот момент, когда штампы в виде секторов 4, закрепленные на вращающихся валках 5, находятся на диаметрально противоположных сторонах. При вращении валков происходит захват заготовки и обжатие ее по форме полости 6. Так как при штамповке на валцах почти неизбежны смещения, то желательно, чтобы полость (ручей) была расположена только в одном секторе валка, а другая его часть была гладкой, как показано на рис. 137.

С целью экономии штамповой стали штампы ковочных валцов изготавливают в виде секторов, которые закрепляются на валках.

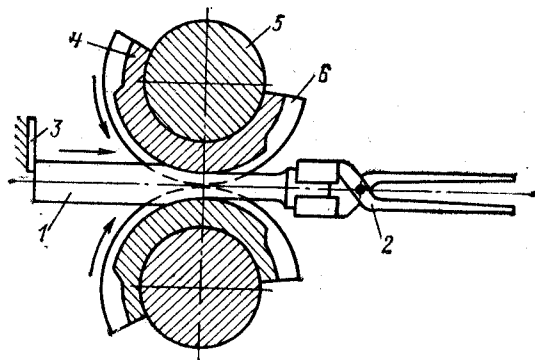


Рис. 137. Схема вальцовки поковок

Изготовление поковок на ротационно-ковочных машинах (редуцирование) заключается в местном обжатии заготовки по ее периметру и может производиться в горячем и холодном состоянии.

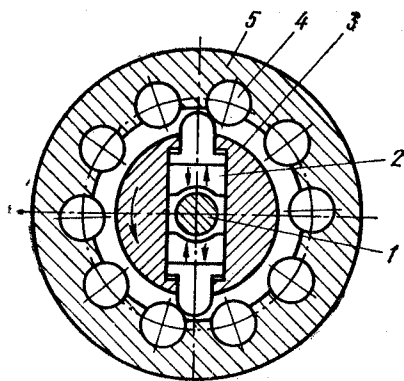


Рис. 138. Принципиальная схема работы ротационно-ковочной машины

Исходными заготовками служат прокат круглого или квадратного сечения, а также трубы. На этих машинах изготовляют главным образом различного рода ступенчатые поковки с круглым, квадратным и другим сечением, конические валики, трубы с оттянутыми на конус концами и т. п.

Ротационно-ковочные машины изготавливаются двух типов — с вращающимися и невращающимися бойками. Схема ротационно-ковочной машины с вращающимися

бойками показана на рис. 138. Исходная заготовка 1 в виде круглого прутка подается между бойками 2, помещенными в шпинделе 3. В процессе вращения шпинделя с помощью роликов 4, находящихся в обойме 5, бойки 2 наносят удары по заготовке и деформируют ее. При этом количество и сила ударов зависят от скорости вращения шпинделя, количества роликов в обойме и числа бойков. У ротационно-ковочных машин с неподвижными бойками вращается обойма с роликами. Этот вид ковки целесообразно применять при изготовлении ноковок простой формы. В этих случаях может быть значительно повышена (в 5—6 раз) производительность по сравнению с обработкой резанием и получена хорошая чистота поверхности изделия.

9. ХОЛОДНАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

К этому виду штамповки относят объемную штамповку без нагрева: осадку, выдавливание, высадку, калибровку, чеканку.

Холодной объемной штамповкой изготавливают небольшие детали из стали, цветных металлов и их сплавов. При этом по сравнению с обработкой резанием сокращаются технологические отходы металла и время обработки в несколько раз. Штамповку осадкой применяют для изготовления небольших деталей типа рычажков, защелок и т. п. Ее выполняют в открытых и закрытых штампах. Штамповкой выдавливанием (прессованием) изготавливают детали типа тел вращения (клапаны и др.). Этот вид холодной штамповки осуществляют в массивных закрытых штампах в матрицах при надавливании на заготовку пуансоном. Излишки металла, остающиеся на торцах деталей, затем обрезают.

Холодной высадкой штамнуют болты, гайки, заклепки, винты, шарики и ролики для подшипников качения и т. д. Штамповку высадкой выполняют в открытых штампах с образованием заусенцев, которые затем обрезают. В закрытых штампах штамповка ведется без образования заусенцев. В качестве исходного материала для холодной высадки обычно используют чистый, калиброванный волочением прутки, покрытый смазкой.

Холодную калибровку производят методом сдавливания заготовки между поверхностями штампа.

При чеканке заготовка сдавливается в закрытом штампе, где и приобретает окончательную форму и размеры.

Подлежащие калибровке и чеканке изделия предварительно отжигают для придания пластических свойств металлу, очищают от окалины и покрывают смазкой.

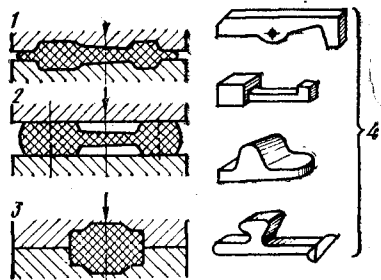


Рис. 139. Примеры холодной объемной штамповки:

1 — объемная формовка; 2 — калибровка; 3 — чеканка; 4 — изготавливаемые детали

Примеры холодной объемной штамповки приведены на рис. 139. Объемную штамповку выдавливанием различных полостей применяют при изготовлении матриц прессформ для прессования деталей из пластических масс, матриц штампов и т. п. Процесс выдавливания состоит в том, что пуансон под большим давлением вдавливается в массивную заготовку и после выхода из нее образует в ней полость. Выдавливанием можно получать сложные полости в стальных заготовках за несколько минут, в то время как изготовление таких же полостей обработкой резанием потребовало бы несколько часов. Для придания металлу необходимой пластичности заготовку перед выдавливанием термически обрабатывают.

Холодную объемную штамповку осадкой и выдавливанием (прессованием) производят главным образом на мощных кривошипных и гидравлических прессах.

Чеканка (калибровка) представляет собой операцию, предназначенную для повышения точности размеров и чистоты поверхности штампуемых изделий.

Чеканку и плоскую калибровку обычно выполняют на чеканочных прессах (рис. 140) с небольшими степенями деформации (5—10%). Чеканочные прессы изготовляют с усилием до 800 тс и более. Прессы этого типа имеют усиленный кривошипно-шатунный механизм 1, приводимый в движение электродвигателем 2. Шатун пресса 3 соединен с рычагами 4, перемещающими ползун 5.

Для холодной высадки применяются специальные, го-

ризональные кривошипные холодновысадочные прессы-автоматы. Холодновысадочные автоматы имеют очень высокую производительность (от 35 до 350 изделий в минуту и более).

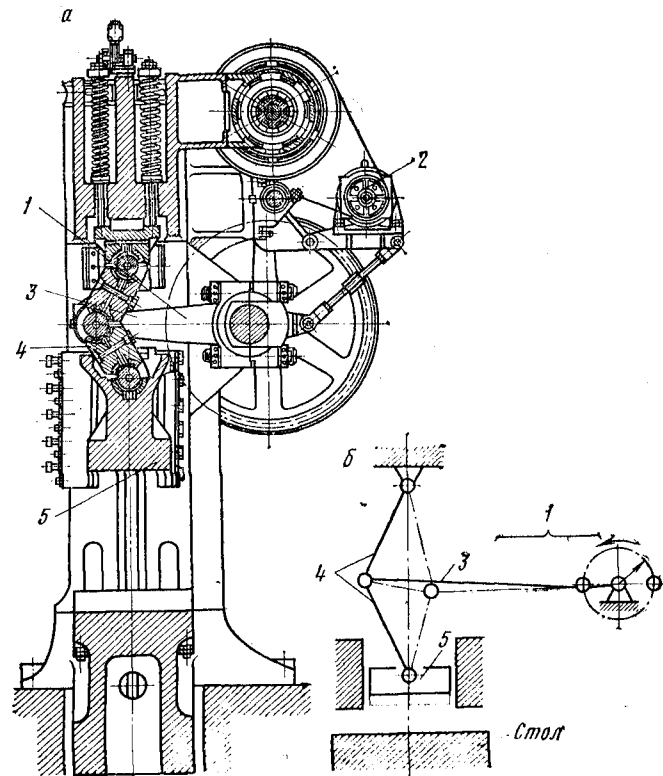


Рис. 140. Общий вид (а) и кинематическая схема чеканочного кривошипного прессы (б)

10. ИЗДЕЛИЯ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫЕ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВОЙ

Горячей объемной штамповкой изготовляют многочисленные различные по конструкции, массе и размерам поковки: колесчатые валы, колеса, шатуны, рычаги, шестерни, крышки, болты, гайки, втулки и многие другие.

Стоимость штампованных деталей с последующей обработкой резанием примерно в 2—2,5 раза ниже стоимости тех же деталей, изготовленных из обычной заготовки только резанием. Масса поковок с каждым годом растет и сейчас она достигает 500 кг.

В связи со значительной стоимостью штампов штамповку рентабельно применять только в условиях крупносерийного и массового производства.

Глава VIII

ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА

1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Листовая штамповка может быть отнесена к числу наиболее прогрессивных высокопроизводительных способов изготовления деталей сложной формы с тонкими стенками. Детали, изготавливаемые штамповкой, отличаются достаточной точностью (класс точности 3—4), однотипностью, хорошей взаимозаменяемостью. Их обычно не требуется обрабатывать на металлорежущих станках. Штампованные детали из листового металла изготавливают за одну или несколько последовательно выполняемых операций.

2. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Операции листовой штамповки подразделяют на разделительные (разъединительные), формоизменяющие, прессовочные, комбинированные и штампо-сборочные. К разделительным операциям относятся отрезка, вырубка-вырезка, разрезка, обрезка, надрезка, пробивка, прорезка и зачистка. К формоизменяющим операциям, связанным с превращением плоской заготовки в пространственную деталь заданной формы без изменения толщины листового материала, относятся вытяжка, формовка, гибка и закатка края, отбортовка, правка, рельефная штамповка, обжим и раздача. К этим же операциям относится вытяжка с уменьшением (утонением) толщины материала стенок. К прессовочным операциям, изменяющим толщину исходной листовой заготовки, относятся холодное выдавливание, чаканка, клеймение (маркиров-

ка) и кернение (разметка). Комбинированная листовая штамповка заключается в совмещении двух и более технологически различных отдельных операций штамповки в одну, например вырубка и вытяжка, отрезка и гибка и другие комбинации.

Штампо-сборочные операции применяются для соединения нескольких деталей в одно изделие (узел); при этом используются процессы запрессовки, клепки, гибки, закатки, холодной пластической сварки давлением и др.

Резка листового материала на мерные заготовки производится в заготовительных отделениях штамповочных цехов. Резку производят на ножницах или на прессах при помощи отрезных штампов. Ножницы в основном применяются трех типов: с параллельными ножами; с наклонными ножами — гильотинные и дисковые.

Ножи у всех ножниц изготавливают из стали марок Х12М, 5ХВ2С, 6ХС, У8А и др. с последующей закалкой. Твердость ножей составляет НРС 54—60.

При резке (вырубке) листового материала в штампах роль верхнего ножа выполняет пуансон, а нижнего, неподвижного — матрица. При этом пуансон имеет меньшие размеры, чем отверстие в матрице. При помощи штампов можно производить следующие основные процессы резки: отрезку, вырубку-вырезку, пробивку, надрезку, разрезку (отделение штамповок друг от друга), обрезку, зачистку. Некоторые из операций могут быть объединены в одном штампе.

Для штампов с параллельными режущими кромками (угол наклона $\varphi=0$, угол резания $\delta=90^\circ$) усилие вырубki P определяют по формуле

$$P = K F \tau = K U S \tau,$$

где F — площадь вырубki (среза);
 S — толщина материала;
 U — периметр (длина контура) вырубаемой детали;
 τ — сопротивление вырубке, принимаемое равным 0,8—0,85 σ_b ;
 K — коэффициент, равный 1,0—1,3 и учитывающий свойства металла, толщину листа, форму и размеры вырубаемого изделия и т. д.

Для уменьшения усилия вырубki и обеспечения более плавной работы пресса применяют штампы с на-

клонными режущими кромками пуансона и матрицы. При этом усилие вырубki может быть снижено на 30—50%.

При вырубке деталей скос режущих кромок делается на матрице, а пуансон должен быть плоским. Тогда полученная деталь также будет плоской, а отход (полоса) изогнутым. При пробивке отверстия скос делается на пуансоне, а матрица должна быть плоской. В этом случае деталь получается плоской, а отход, удаляемый из матрицы, будет изгибаться.

Большое значение в процессе вырубki имеют зазоры между пуансоном и матрицей. Они устанавливаются в зависимости от свойств и толщины обрабатываемого материала. При нормальном режиме работы пресса ($n < 140$ об/мин) для низкоуглеродистой стали толщиной от 0,5 до 10 мм минимальные зазоры составляют 4—10% от толщины материала.

С целью повышения класса точности и чистоты поверхности (до 8-го класса) деталей применяют зачистные операции. Зачистка предназначена для срезания припуска, преднамеренно оставленного при вырубке на специальных зачистных штампах.

Перед вырубкой составляются карты раскроя листового материала, целью которых является наиболее рациональное расположение вырубаемых деталей на заготовке. Это позволяет при миллионных выпусках деталей сэкономить значительное количество металла (стоимость материала штампованных деталей составляет около 60—80% от их общей стоимости). Показателем рационального раскроя является коэффициент использования материала K , определяемый по формуле

$$K = \frac{F_0}{F_{\text{заг}}} 100\%,$$

где F_0 — полезная площадь детали;

$F_{\text{заг}}$ — потребная площадь заготовки для изготовления детали.

Для вырубki деталей простой формы из заготовки толщиной до 3—4 мм матрицу и пуансон изготавливают из инструментальной углеродистой стали марок У10А и У8А. При вырубке деталей сложной формы и из материала толщиной более 4 мм пуансон и матрицу делают из легированных сталей марок Х12М, 9ХВГ, 5ХВ2С,

Х12, Х12ТФ и др. Матрицы и пуансоны подвергают термической обработке (закалке и отпуску) с последующей шлифовкой и полировкой рабочих поверхностей. Твердость пуансонов и матриц $HRC 58—62$, а чистота обработки рабочих поверхностей $\nabla 8—\nabla 7$.

Для смазки режущих кромок матрицы и пуансона при штамповке стальных деталей используют веретенное,

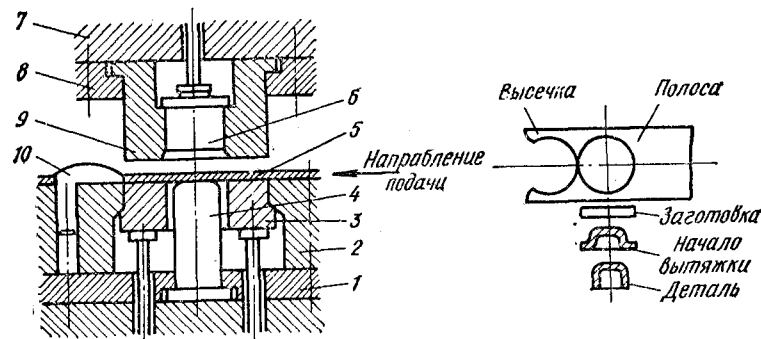


Рис. 141. Схема комбинированного штампа для одновременной вырубki и гибки:

1 — нижняя плита; 2 — матрица вырубki; 3 — прижим; 4 — пуансон вытяжки (неподвижный); 5 — полоса (заготовка); 6 — выталкиватель для удаления детали из матрицы; 7 — верхняя плита; 8 — пуансонодержатель; 9 — пуансон вырубki с отверстием (матрицей вытяжки); 10 — упор, ограничивающий подачу полосы

машинное и трансформаторные масла, при штамповке латуни — мыльную эмульсию, а при штамповке алюминия — машинное масло № 6.

Процесс гибки применяется, когда требуется получить из плоской заготовки изогнутую деталь. Гибка производится при помощи штампов на кривошипных (эксцентриковых) прессах, горизонтальногибочных машинах (бульдозерах), гидравлических прессах и на специальных гибочных автоматах.

Для гибки применяют следующие штампы:

- 1) простые одноугольные и двухугольные;
- 2) последовательного действия (например, для вырубki изделия с последующей пробивкой в нем отверстия);
- 3) комбинированные (рис. 141) для одновременной вырубki и гибки.

опускании верхней части штампа пуансон 1 сначала производит вырубку определенной формы и размеров заготовку, затем прижимает ее к кольцу 6, после чего по мере дальнейшего движения пуансона заготовка постепенно вытягивается из-под кольца и, плотно облекая вытяжной пуансон 8, принимает форму изделия. При обратном движении ползуна (вверх) изделие удаляется из верхней части штампа выталкивателем 2, действующим от пресса

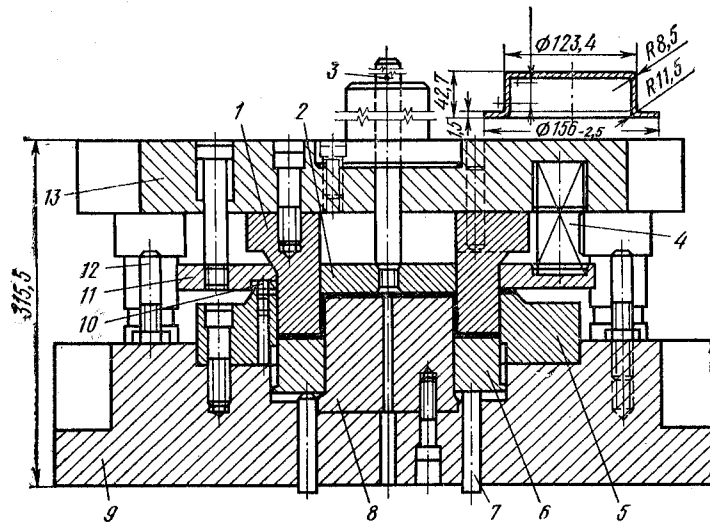


Рис. 143. Комбинированный штамп для вырубki и вытяжки листовой заготовки

через толкатель 3. С вырубного пуансона 1 полоса снимается съемником 11, работающим от пружин 4, расположенных в углублениях верхней плиты 13. Штамп работает «на провал».

Формовочные операции

К этим операциям относятся фасонная (рельефная) штамповка, формовка, отбортовка, обжим и раздача.

Фасонной штамповке обычно подвергают плоские заготовки для получения в них различных углублений, ребер жесткости и т. п., при этом толщина металла почти

не меняется. Этот вид штамповки может выполняться либо как отдельная самостоятельная операция либо в комбинации с другими процессами, например с вырубкой, вытяжкой и т. д. Формовка производится обычно после вытяжки для получения окончательной формы (профиля) или с целью получения более точных размеров деталей.

Отбортовка заключается в образовании в плоском или полом изделии с предварительно пробитым отвер-

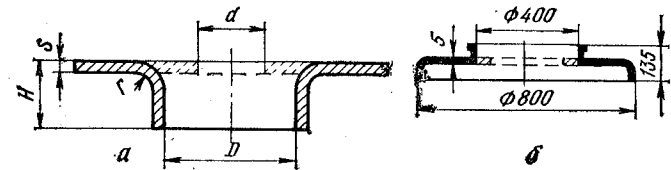
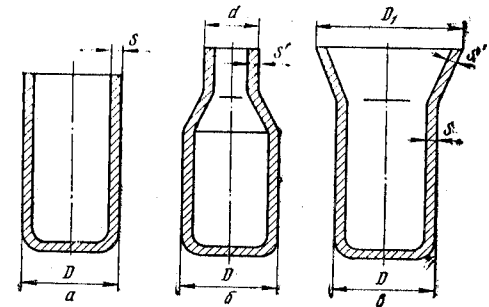


Рис. 144. Примеры отбортовки:

а — в плоской заготовке; б — в котельном днище

Рис. 145. Неходящая заготовка (а) после обжима (б) и раздачи (в):

s — толщина стенки изделия до обжима и раздачи s' — толщина стенки у верхнего края изделия после обжатия (s' больше s) и раздачи (s' меньше s)



ствием d отверстия большего диаметра D с цилиндрическим или пологими бортами высотой H и радиусом r (рис. 144). При отбортовке часто достигается экономия металла, а также сокращение числа операций, по сравнению с изготовлением тех же деталей путем вытяжки.

Обжим заключается в уменьшении диаметра открытой концевой части предварительно вытянутого полого изделия. Для этого полая заготовка вводится в неразъемную матрицу, имеющую форму готового изделия. При этом, чтобы избежать образования складок внутри заготовки вводится расправочный стержень (пуансон).

Раздача, в противоположность обжиму, предназначена для увеличения диаметра открытой концевой части полый цилиндрической заготовки или трубы и осуществляется путем постепенного внедрения в нее конического пуансона. Примеры обжима и раздачи приведены на рис. 145.

Все рассмотренные формовочные операции производятся на кривошипных прессах простого и двойного действия (в случае объединения их с вытяжкой), а также на гидравлических прессах. Кроме того, для рельефной штамповки и формовки применяют фрикционные прессы.

Прессовочные операции

К этим операциям относятся чеканка, клеймение (маркировка), разметка (кернение) и холодное выдавливание. Указанные операции основаны на частичном перераспределении и перемещении металла заготовки в процессе штамповки.

Чеканкой называется штамповочная операция, в результате которой изменяется толщина заготовки и форма изделия. Для чеканки применяются штампы, состоящие из верхней и нижней половин. Благодаря высокому удельному давлению (удельному усилию), составляющему в зависимости от рода материала 120—300 кгс/мм², штампуемый металл хорошо заполняет все очертания полости штампа. Это позволяет получать детали с большой точностью размеров от $\pm 0,1$ до $\pm 0,05$ мм. Чеканка применяется для изготовления монет, медалей, часовых деталей, художественных и других изделий. Она может применяться и в комбинации с другими операциями (вытяжкой, отбортовкой и т. д.)

Клеймение отличается от чеканки тем, что глубина проникновения деформации в металл при этой операции меньше, поэтому требуется более низкое удельное давление порядка 100—180 кгс/мм². Для чеканки и клеймения применяют в основном кривошипные и винтовые фрикционные прессы.

Разметка применяется главным образом в приборостроении и часовом производстве для разметки мелких отверстий перед сверлением.

Операции холодного выдавливания были рассмотрены выше.

Рабочие части штампов для прессовочных операций изготовляют из следующих материалов: пуансоны из стали марок У10А, Х12, Х12ТФ, 7ХГ2ВФМ; твердость после закалки *HRC* 58—62; матрицы из стали марок У10А, Х12М, ШХ15, Х12ТФ, Х12Ф1, ХГЗСВФМ — твердость после закалки *HRC* 60—62.

Комбинированные штампо-сборочные операции и штампо-сварные конструкции

Комбинированная штамповка заключается в объединении нескольких операций в одном и том же штампе. Можно объединить как несколько операций одной и той же группы (отрезка и пробивка, вырубка и пробивка и т. п.), так и несколько операций различных групп (вырубка и вытяжка, отрезка и гибка, вытяжка и формовка и т. д.). Это позволяет увеличить производительность, уменьшить количество штампов и процессов по сравнению с обычной раздельной штамповкой.

Штампо-сборочные операции холодной листовой штамповки основаны на применении операций гибки, отбортовки, раздачи или развальцовки и их комбинации.

Штампо-сварные конструкции позволяют заменить литые и кованные детали, что в ряде случаев оказывается более выгодным.

Кроме холодной листовой штамповки, рассмотренной выше, в некоторых случаях применяется также горячая листовая штамповка, в основном при изготовлении деталей из стальных листов большой толщины (20—50 мм), а также при штамповке деталей из специальных сталей (небольшой толщины 3—6 мм), которые при деформировании в холодном состоянии способны давать трещины.

Горячая листовая штамповка, в зависимости от применяемого материала, производится в следующих интервалах температур: для стали марок 15—50 начальная температура составляет 1250—1150°С, конечная 870—830°С, для легированной стали марок 40ХН, 20Н5 начальная температура составляет 1150—1170°С, конечная 900°С. Горячей штамповкой производят вырубку, гибку, пробивку, отбортовку, вытяжку и другие операции. Все эти операции производятся с помощью штампов на кривошипных, винтовых фрикционных, гидравлических и парогидравлических прессах.

Штамповка неметаллических материалов

Из листовых неметаллических материалов штамповкой изготавливают различные изделия, предназначенные для прокладочных и изоляционных целей. К неметаллическим материалам, наиболее широко применяемым в промышленности, относятся:

- 1) материалы на основе бумаги (фибра и картон);
- 2) пластические массы слоистого строения — гетинакс, текстолит и стеклотекстолит; однородной структуры — винипласт, эбонит, органическое стекло, целлулоид и резина;
- 3) материалы минерального происхождения — слюда и миканиты.

Одни неметаллические материалы штампуются в холодном, а другие — только в подогретом состоянии.

3. ШТАМПЫ

Для штамповки листовых деталей получили применение два типа штампов: 1) упрощенные — для вырубных (пробивных), гибочных, вытяжных и формовочных операций и 2) универсальные.

Упрощенные штампы имеют минимальное число простых вспомогательных деталей (направляющих, съемников, фиксаторов и т. д.), а рабочие их части (матрицы и пуансоны) изготавливают из дешевых и доступных материалов. На упрощенных штампах можно вырубать детали из стали толщиной до 2,5 мм, а из цветных металлов — толщиной до 6 мм. На упрощенных штампах, предназначенных для операций вытяжки, формовки и отбортовки, изготавливают крупногабаритные детали сложной конфигурации из материалов толщиной до 1,5 мм (облицовочные детали автомобилей и автобусов и т. п.).

Значительное распространение получили для изготовления различных изделий упрощенные штампы из пластмасс.

Универсальные штампы представляют собой универсальные блоки, в которых закрепляются сменные рабочие части: матрицы и пуансоны, переставные упоры, направляющие линейки и т. д.

Универсальные штампы позволяют изготавливать детали с точностью 7—5-го класса и выше. Применение по-

элементной штамповки в универсальных штампах, расположенных в линию, позволяет применить групповой метод изготовления деталей из листовых материалов.

4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Наибольшее распространение для холодной листовой штамповки получили кривошипные и эксцентриковые прессы. Эти прессы разделяются на одностоечные, с расположением кривошипно-шатунного механизма по одну сторону от опор, и двухстоечные, у которых указанный механизм находится между опорами. Последние бывают открытого и закрытого типа.

По технологическому признаку прессы подразделяются на два типа: общего и специального назначения. К прессам общего назначения относятся универсальные кривошипные прессы простого действия, а к прессам второго типа — вытяжные прессы двойного и тройного действия, многопозиционные прессы, прессы-автоматы, чекильные и др. Прессы общего назначения предназначены для выполнения самых разнообразных, но в основном простых работ, а прессы специального назначения — для более сложных вытяжных и других работ. По числу шатунов прессы подразделяются на одно-, двух- и четырехшатунные.

Одностоечные и двухстоечные открытого типа кривошипные прессы изготавливают с номинальным усилием до 200 тс и более. Двухстоечные кривошипные прессы закрытого типа (рис. 146, а), предназначенные для штамповки больших листовых изделий, производят с номинальным усилием до 3000 тс. Прессы этого типа имеют закрытый привод 1, обычно расположенный в верхней части, и ползун 2 передвигается в массивных направляющих стойках 3. Стойки имеют просмы 4, предназначенные для подачи листовой заготовки и удаления отходов. Прессы двойного действия (рис. 146, б) наиболее часто применяют при изготовлении изделий с глубокой вытяжкой. Они имеют два ползуна: наружный 2, приводящий в действие прижим 3, и внутренний 1, передвигающий пуансон 4, который входит в матрицу 5 и выдавливает изделие 6.

Прессы тройного действия обычно применяют для вытяжки сложных крупногабаритных деталей с наличием

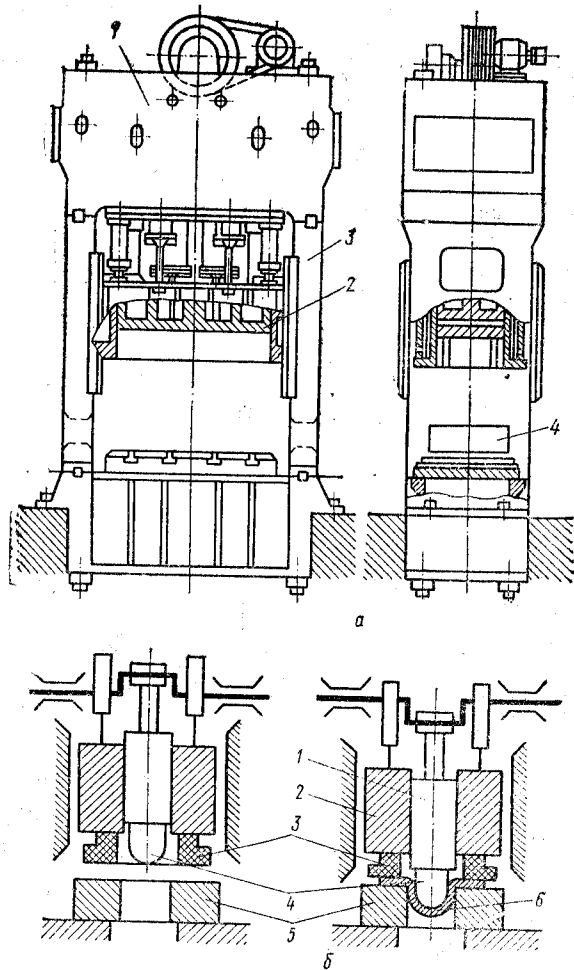


Рис. 146. Общий вид кривошипного пресса (а) и схема работы пресса двойного действия (б)

см полостей, образующихся в результате обратной вытяжки. Эти прессы имеют три ползуна: два верхних, имеющих такое же назначение, как и у прессов двойного действия, и нижний, передвигающийся внутри стола прессы в направлении, противоположном движению верхних ползунков. В последние годы для штамповки стали применяют гидравлические прессы простого и двойного действия с усилием 100—2000 тс. Детали из толстой листовой стали обычно штампуют в горячем состоянии на мощных гидравлических прессах с давлением до 7000 тс. В последнее время создаются целые линии, оснащенные гидравлическими листо-штамповочными прессами.

Б. ШТАМПОВКА ВЗРЫВОМ

При штамповке взрывом (рис. 147) листовая заготовка под давлением жидкости или газов деформируется и принимает форму полости матрицы. Технология штамповки взрывом обычно состоит из следующих основных операций: установка листовой заготовки на матрицу, опускание матрицы с заготовкой в воду, штамповка заготовки взрывом, подъем матрицы и удаление из нее полученного изделия.

Штамповкой взрывом можно выполнять гибку, вытяжку, формовку, пробивку отверстий и другие операции листовой штамповки.

Основные достоинства штамповки взрывом: не требуется сложное прессовое оборудование и оснастка, можно изготавливать изделия больших габаритов, более высокая степень формоизменения за один переход штамповки, возможность штамповки некоторых труднодеформируемых сплавов и др.

К недостаткам этого способа штамповки относятся:

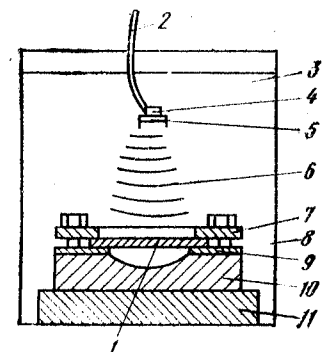


Рис. 147. Принципиальная схема установки для штамповки взрывом: 1 — заготовка; 2 — провода; 3 — вода; 4 — детонатор; 5 — заряд; 6 — взрывные волны; 7 — прижимное кольцо; 8 — бак; 9 — прокладка; 10 — матрица; 11 — основание

относительно малая производительность, ограниченность ассортимента изготавливаемых изделий, повышенная опасность процесса и др.

6. МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Исходным материалом для листовой штамповки служат листы, полосы и ленты из малоуглеродистой и пластичной легированной стали, а также из цветных металлов (медь, алюминий, титан и др.) и их сплавов (латунь, дюралюминий и т. д.). В ряде случаев листовой штамповке подвергают холоднокатаные листы нержавеющей стали. Из неметаллических материалов для штамповки применяют гетинакс, стеклотекстолит, текстолит, кожу, бумагу, картон, фибру, резину и многие другие.

Листовую штамповку условно делят на тонколистовую и толстолистовую. Для тонколистовой штамповки применяют листовую заготовку толщиной от 0,15 до 4 мм, а для толстолистовой — толщиной от 4 мм до 50 мм. Листовую сталь толщиной более 20 мм обычно штампуют в горячем состоянии.

Перед штамповкой листовой материал проходит необходимую предусмотренную технологией подготовку, состоящую из очистки, смазки, изготовления заготовок необходимой формы и размеров путем резки листов на полосы (ленты), а последних на прямоугольные заготовки или с фасонным контуром.

Прежде чем поступить на штамповку, листовые материалы подвергают соответствующим испытаниям: на универсальных и специальных разрывных машинах (на растяжение) и приборах типа Эриксона, ПТЛ-10, МТЛ-10Г (технологические испытания — на гибку, вытяжку, перегиб, срез).

7. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ И ИЗГОТОВЛЯЕМЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Листовая штамповка благодаря высокой производительности, большой точности получаемых деталей и другим достоинствам получила исключительно широкое применение в различных отраслях промышленности.

К основным преимуществам листовой штамповки относятся:

1) высокая производительность и экономный расход металла;

2) простота процесса, что создает возможность его механизации, а в отдельных случаях автоматизировать.

3) получение прочных, жестких тонкостенных изделий простой и сложной формы, изготовление которых другими способами обработки затруднительно или не представляется возможным.

Листовую штамповку применяют для изготовления крупных облицовочных деталей автомобилей и автобусов, тракторов, самолетов, вагонов, для различных рамных изделий, деталей велосипедов, мотоциклов, приборов, часов, металлической посуды, очень больших толстолистовых днищ котлов и различных резервуаров, деталей аппаратов химического производства и др.

У РАЗДЕЛ ОСНОВЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Общие сведения

Наша страна является ведущей в области изобретения, усовершенствования и развития сварочных процессов.

В 1802 г. русский ученый — академик В. В. Петров открыл явление электрической дуги и впервые указал на возможность при помощи ее нагревать и расплавлять металлы.

В 1882 г. русский инженер Н. Н. Бенардос изобрел способ электродуговой сварки неплавящимся угольным электродом, а 1888—1890 гг. другой русский инженер Н. Г. Славянов предложил выполнять дуговую сварку плавящимся металлическим электродом. Способы Н. Н. Бенардоса и Н. Г. Славянова являются основой современных видов электросварки металлов.

После Великой Октябрьской Социалистической революции сварочная наука и техника получили дальнейшее бурное развитие, особенно в годы первых пятилеток. Несмотря на то что в те годы сварка выполнялась только ручным способом, ее применение привело к значительной экономии металла, снижению трудоемкости металлоконструкций и улучшению условий труда.

Особенные заслуги в области электродуговой сварки, механизации и автоматизации ее процесса принадлежат советскому ученому академику Е. О. Патону. Во время Великой Отечественной войны автоматическая сварка под слоем флюса была широко освоена на наших оборонных заводах и сыграла большую роль в увеличении производства танков и артиллерийского вооружения.

Быстрое развитие промышленности и всех отраслей техники вызвало появление новых средств нагрева, пригодных для сварки металлов, таких, например, как электрический ток, дуговой разряд, ацетилено-кислородное пламя, термитные смеси, электронный луч, лазер, высокотемпературная плазма, ультразвук и др. и соответственно новых эффективных способов сварки.

Глава I

КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ СВАРКИ

1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА СВАРКИ

Сварка — это технологический процесс получения неразъемных соединений металлов, сплавов и различных материалов. Она широко применяется в машиностроении, металлообработке и строительной промышленности для соединения металлов и сплавов между собой и с неметаллическими материалами (керамикой, стеклом, графитом, керметами, кварцами и т. п.), а также для соединения пластических масс. Сварка как высокопроизводительный и экономически выгодный процесс нашла широкое применение в народном хозяйстве при обработке различных материалов.

В настоящее время насчитывается несколько десятков способов сварки и их разновидностей. Все они могут быть классифицированы либо по методу объединения соединяемых поверхностей, либо по виду применяемой энергии. По первому признаку все сварочные процессы можно разделить на два основных способа: 1) сварка плавлением (сварка без давления); 2) сварка давлением (сварка без оплавления).

При сварке плавлением производится расплавление кромок свариваемых заготовок и присадочного материала для заполнения зазора между ними. Подвижность атомов материала в жидком состоянии приводит к объединению частей деталей в результате образования общей сварочной ванны. В результате кристаллизации металла сварочной ванны совместно с оплавленными кромками изделия и возникновения сварного шва образуется прочное соединение.

К способам сварки плавлением относятся: дуговая, плазменная, электрошлаковая, газовая, термитная, литиевая, электроннолучевая, световая-лазерная.

При сварке давлением (без плавления) соединение заготовок достигается путем совместной пластической деформации соединяемых поверхностей. Пластическая деформация осуществляется за счет приложения внешнего усилия; при этом материал в зоне соединения, как прави-

ло, нагревают с целью повышения его пластичности. В процессе деформации происходит смятие неровностей, разрушение окисных пленок, в результате чего увеличивается площадь соприкосновения ювенильных (чистых) поверхностей.

Возникновение межатомных связей в этих условиях приводит к прочному соединению деталей. К способам сварки давления относятся диффузионная, контактная, индукционная, газопрессовая, ультразвуковая, сварка, а также сварка трением, холодная сварка, сварка взрывом и конденсаторная.

По виду применяемой энергии сварка может быть *электрической* (все виды дуговой сварки, электрошлаковая, контактная и др.), *химической* (газовая и термитная) и *механической* (сварка трением и холодная).

В разделе сварочного производства рассматриваются также резка металлов, нанесение покрытий и пайка низкотемпературными и высокотемпературными припоями.

2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРКИ

Сваркой материалов называется процесс их соединения за счет сил взаимодействия атомов. Как известно, поверхностные атомы металла имеют свободные, ненасыщенные связи (вакансии), которые захватывают всякий атом или молекулу, приблизившиеся на расстояние действия межатомных сил. Если сблизить поверхности двух кусков металла на расстояние действия межатомных сил, на каком они находятся внутри металла, то получим по поверхности соприкосновения сращивание их в одно целое, равное прочности цельного металла. Процесс соединения протекает самопроизвольно (спонтанно) без затрат энергии и весьма быстро, практически мгновенно.

Процесс объединения отдельных объемов в один общий объем термодинамически должен идти самопроизвольно, без подведения энергии извне. Свободный атом имеет избыток энергии по сравнению с атомом конденсированной системы, и просоединение свободного атома сопровождается освобождением энергии. Такое самопроизвольное объединение наблюдается на объемах однофазной жидкости. Несравненно труднее происходит объединение объемов твердого вещества; в этом случае при-

ходится затрачивать значительные количества энергии и применять сложные технические приемы для сближения соединяемых атомов.

Обычные металлы при комнатной температуре не соединяются не только при простом контакте, но и при сжатии значительными усилиями. Соединению твердых металлов мешает прежде всего их твердость, при их сближении действительный контакт происходит лишь в

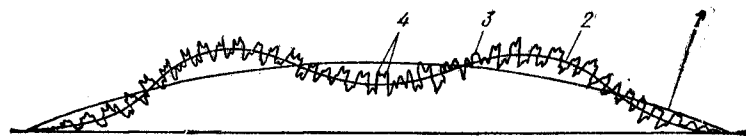


Рис. 148. Схема основных видов отступлений реальных поверхностей от идеальной поверхности:

1 — макроскопические нарушения; 2 — волнистость поверхности; 3 — микроскопические поверхности; 4 — ультрамикроскопические неровности

немногих точках, как бы тщательно она не была обработана (рис. 148). У наиболее важных для техники металлов, сплавов и особенно неметаллических материалов твердость настолько велика, что поверхность действительного соприкосновения очень мала по сравнению с общей кажущейся поверхностью соприкосновения, даже при наличии хорошо обработанных и пригнанных поверхностей.

На процесс соединения сильно влияют загрязнения поверхности металлов — окислы, жировые пленки и пр., а также адсорбционные слои молекул газов, воды, образующиеся на свежеработанной поверхности металла под действием атмосферы почти мгновенно (рис. 149). Получить чистую поверхность металлов, свободную от слоев адсорбированных газов, и сколько-нибудь длительно сохранить ее можно лишь в высоком вакууме (не ниже $1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.). Такие естественные условия имеются в космическом пространстве, где металлы довольно прочно свариваются при случайных соприкосновениях. В обычных же, земных условиях мы встречаемся с затруднениями, основными из которых являются твердость металлов и адсорбированные газы на поверхности; для преодоления этих затруднений применяют нагрев и давление.

При нагреве с повышением температуры металл становится пластичным. Дальнейшим повышением температуры металл можно довести до расплавления; в этом случае объемы жидкого металла самопроизвольно сливаются в общую сварочную ванну.

Давление, прилагаемое к соединяемым частям, создает значительную пластическую деформацию металла и он начинает течь подобно жидкости. Металл должен перемещаться вдоль поверхности раздела, унося с собой поверхностный слой с загрязнениями и пленками адсорбированных газов; в тесное соприкосновение вступают выходящие на поверхность свежие слои и образуют одно целое. Пластическое деформирование металла при сварке называется *осадкой*, а прилагаемое давление *осадочным*. С повышением температуры металла осадочное давление уменьшается.

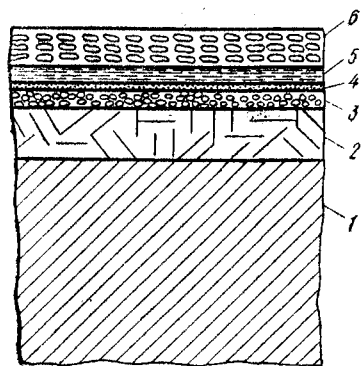


Рис. 149. Схема основных видов адсорбированных слоев на поверхности технического металла:

1 — металл; 2 — деформированная зона; 3 — слой окислов; 4 — адсорбированный слой газов; 5 — адсорбированный слой воды; 6 — слой полярных молекул

жировые пленки. Эти загрязнения, попадая в сварное соединение, могут снижать качество сварки. Они в отличие от адсорбированных газов могут быть удалены с поверхности металла механически (резанием, щетками, абразивами и пр.) или химически (растворителями, травителями и флюсами).

Специфическим для сварки средством очистки служат флюсы, растворяющие окислы при повышенных температурах. Помимо устранения загрязнений с поверхности металла, принимаются меры к уменьшению загрязнения металла в процессе сварки, в первую очередь окислами. Для этой цели используют флюсы, шлаки, вакуум, защитные газы, вдуваемые в зону сварки.

В зависимости от способа сварки в металле происходят процессы пластической деформации или расплавления, сопровождающиеся образованием растворов, химических соединений, процессов кристаллизации из жидкого состояния и др.

Процесс диффузии при сварке с подогревом металла способствует расширению зоны сварки за счет диффузионного перемещения атомов. При сварке плавлением имеет место кристаллизация, влияющая на качество соединения. Сварной шов имеет литую структуру, иногда измененную последующими нагревами. Высокий нагрев металла приводит к получению крупнозернистой структуры, вызывающей ухудшение свойств сварного соединения. При сварке плавлением легкоплавких металлов с целью повышения прочности сварного соединения в сварочную ванну вводят модификатор, позволяющий улучшить структуру металла.

Металл, находящийся вблизи выполняемого шва, претерпевает структурные изменения вследствие воздействия на него температуры в процессе сварки. При сварке плавлением часто происходит окисление и азотирование, а также выгорание легирующих примесей в расплавленном металле.

Особенностью металлургических процессов при сварке плавлением являются весьма высокие температуры и кратковременность всех процессов, что и приводит к изменению структуры металла в зоне термического влияния.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ СВАРКИ

Способы сварки можно классифицировать, например, по виду энергии, используемой при сварке, по степени механизации процесса сварки, по виду свариваемого металла и т. п. Вполне совершенной классификации, охватывающей все способы сварки, с учетом физических процессов в зоне соединения, не существует. Принято все существующие способы сварки делить на две большие группы: 1) сварка плавлением (сварка без давления); 2) сварка давлением (сварка без оплавления).

Первая группа характеризуется объединением частей металла при его жидком состоянии без приложения давления. К сварке плавлением примыкает пайка, отличаю-

щаяся тем, что расплавляется лишь присадочный металл (припой), а основной свариваемый металл остается нерасплавленным, в то время как при сварке частично расплавляется и основной металл.

Во второй группе объединение металла соединяемых частей в монолитное целое характеризуется применением давления для осадки металла, остальные признаки,

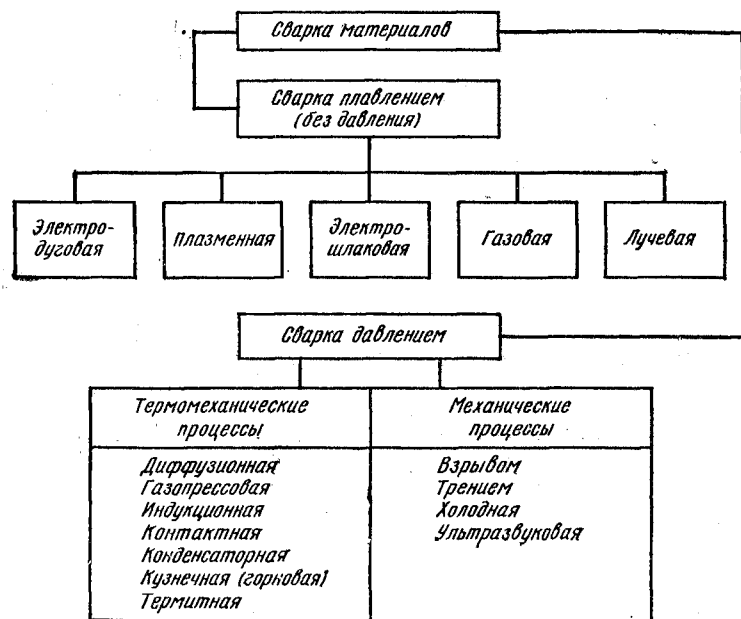


Рис. 150. Классификация способов сварки

в том числе состояние металла, не принимаются во внимание.

Приложение давления хотя бы и при наличии расплавления в зоне сварки позволяет отнести способ к группе сварки давлением, как например, при электрической контактной сварке (точечной и роликовой шовной).

В классификации (ГОСТ 2601—74 и 19521—74), показанной на рис. 150, каждый из методов сварки разделен на несколько способов.

Применяется также классификация по виду энергии, используемой для нагрева металла при сварке. По этому признаку все способы сварки можно объединить в четыре основные группы (рис. 151): 1) электрические; 2) химические; 3) механические; 4) лучевые.

В зависимости от способа подачи присадочного металла и флюсов к месту сварки (соединения деталей), осадки деталей и управления источником тепла различа-

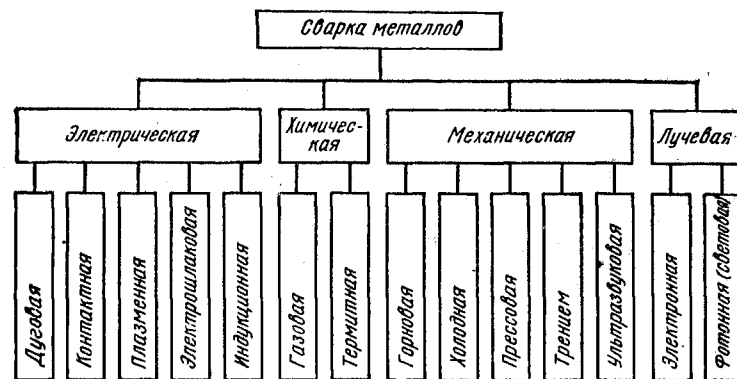


Рис. 151. Энергетическая классификация способов сварки

ют ручной, полуавтоматический и автоматический способы сварки.

В промышленности наибольшее применение нашла электросварка, использующая электрическую энергию для нагрева металла. В химических способах для нагрева металла используется энергия экзотермических химических реакций, из которых наибольшее значение имеют газовая и термитная сварка. В механических способах преобладающее значение имеет механическая энергия; сюда относятся, например, такие способы сварки, как холодная, прессовая, кузнечная (горновая), сварка трением. Сварка лучевая или диффузионная обеспечивает высокую чистоту процесса, источник энергии расположен на значительном расстоянии от объекта сварки.

К лучевым относятся такие способы сварки, как электроннолучевая, световая (лазерная), гелиосварка (солнечная).

Для способов, в которых существенное значение имеют два вида энергии, можно образовывать промежуточные группы, например электромеханическую для контактной и диффузионной сварки, электрохимическую для дуговой сварки в активном защитном газе, химико-механическую для газопрессовой сварки и т. д. Единую классификацию разрабатывает в настоящее время ВНИИНмаш Госстандарта СССР.

4. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ

При изготовлении сварных конструкций применяют следующие основные типы соединений ГОСТ 2601—74: стыковые, внахлестку, тавровые, угловые и заклепочные соединения (рис. 152).

Стыковые соединения различают по виду предварительной подготовки кромок (рис. 152, а — ж). В зависимости от толщины свариваемого металла производят различную подготовку кромок, которая для ручной электродуговой сварки и автоматической сварки под слоем флюса регламентируется ГОСТами. При толщине металла до 3 мм применяют отбортовку без зазора (рис. 152, а). При толщине листов от 3 до 8 мм сваривают без подготовки кромок при зазоре до 2 мм (рис. 152, б, в). Для листов толщиной до 13—15 мм сваривают с односторонней V-образной разделкой кромок (рис. 152, г). При толщине листа больше 15 мм рекомендуется двусторонняя х-образная разделка кромок (рис. 152, д). Листы толщиной более 20 мм сваривают с чашеобразной разделкой кромок, которая может быть односторонней и двусторонней (рис. 152, е, ж).

Нахлесточные соединения (рис. 152, з) характеризуются наличием перекрытия кромок свариваемых листов: величина нахлестки равна трех-пятикратной толщине свариваемых элементов. Разновидностями нахлесточных соединений являются прорезные (рис. 152, и) и электро-заклепочные соединения (рис. 152, к).

Тавровые соединения выполняются приваркой одного элемента изделия к другому (рис. 152, л). Без скоса кромок сваривают конструкции с малой нагрузкой. При изготовлении ответственных конструкций с элементами толщиной 10—20 мм применяют односторонний скос,

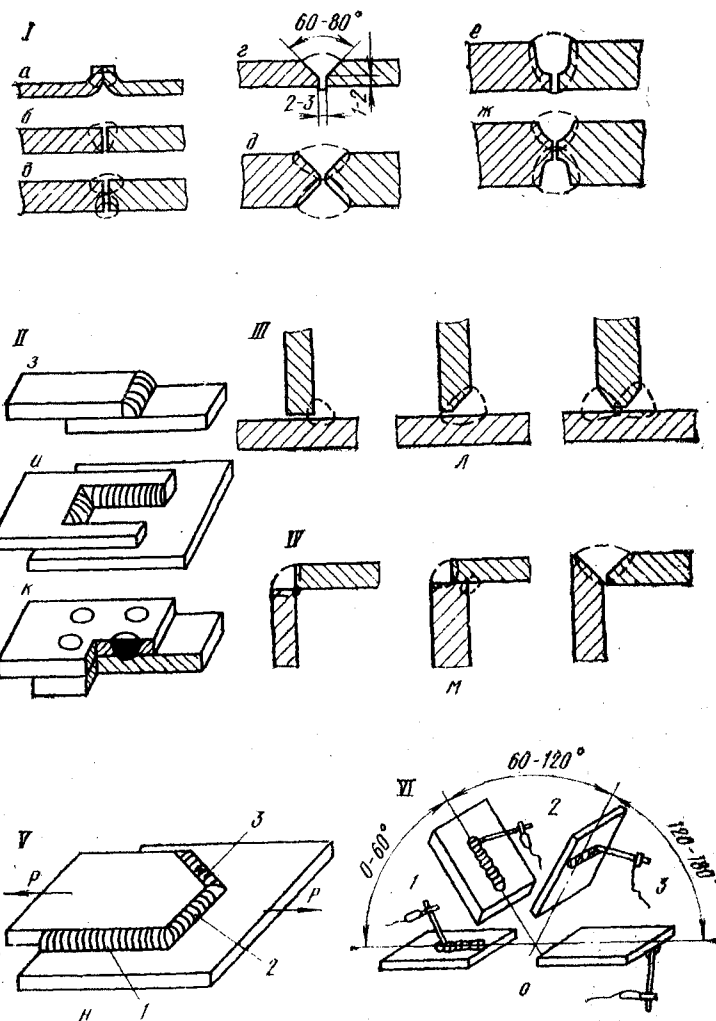


Рис. 152. Сварные соединения:

I — виды сварных соединений и швов в стык; II — соединения внахлестку; III — тавровые соединения; IV — угловые соединения; V — типы швов по отношению к направлению действующих на них усилий; VI — типы швов при различном положении в пространстве

а при толщине элементов более 20 мм — двусторонний.

Угловые соединения (рис. 152, м) при любых толщинах можно получить без подготовки кромок. Сварка с подготовкой кромок применяется редко.

В зависимости от расположения швов к направлению действующего на них усилия P различают швы (рис. 152, н) фланговые 1, лобовые 2, и косые 3.

По расположению шва в пространстве, которое он занимает во время сварки, различают швы (рис. 152, о) нижние 1, вертикальные 2 и потолочные 3.

Швы, накладываемые горизонтально при вертикальном положении изделия, называются горизонтальными.

Швы можно выполнять непрерывными и прерывистыми в зависимости от действующей нагрузки.

5. СТРОЕНИЕ СВАРНОГО ШВА

Особенностями металлургических процессов при сварке плавлением являются весьма высокие температуры и кратковременность всех процессов. На рис. 153 показана структура зоны влияния (строение сварного шва) после затвердевания и распределение температуры в малоуглеродистой стали в зоне термического влияния. Наплавленный металл 1 (участок 0—1) имеет столбчатое (дендритное) строение, характерное для литой стали при ее медленном затвердевании. Если наплавленный металл или соседний с ним участок 1 был сильно перегрет, то при охлаждении на участке 2 зерна основного металла (низкоуглеродистой стали) имеют игольчатую форму, образуя грубоигольчатую структуру. Этот участок имеет крупнозернистую структуру и обладает наибольшей хрупкостью и весьма низкими механическими свойствами. На участке 3 температура металла не превышает 1000°C . Здесь имеет место нормализация, структура получается мелкозернистой с повышенными механическими свойствами по сравнению с основным металлом. На участке 4 происходит неполная перекристаллизация стали, так как температура нагрева находилась между критическими точками A_{c1} и A_{c3} . На этом участке наряду с крупными зернами феррита образуются и мелкие зерна феррита и перлита.

В зоне 5 структурных изменений в стали не происходит. Если сталь перед сваркой подвергалась пластиче-

ской деформации, то в зоне сварки имеет место рекристаллизация. На участке 6 структура стали не отличается от структуры основного металла.

При сварке малоуглеродистой стали структурные изменения в зоне термического влияния мало отражаются на механических свойствах. При сварке некоторых конструкционных сталей в зоне термического влияния имеет место образование закалочных структур, которые

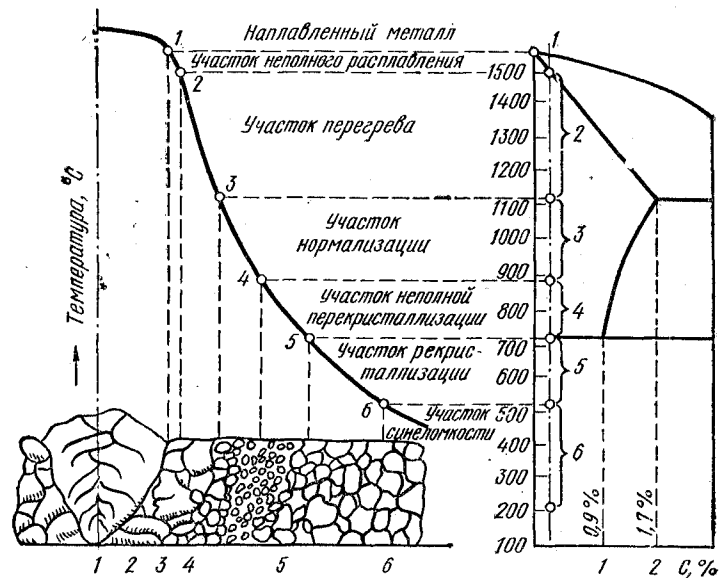


Рис. 153. Изменение структуры металла в зоне термического влияния при сварке низкоуглеродистой стали

сильно снижают пластические свойства и являются причиной образования трещин.

Величина зоны термического влияния зависит от способа и технологии сварки и свойств свариваемого металла. Так, при ручной дуговой сварке стали тонкообмазанными электродами и при автоматической сварке под слоем флюса размеры зоны термического влияния минимальны (2—2,5 мм); при сварке электродами с толстой обмазкой протяженность этой зоны равна 4—10 мм, а при газовой сварке 20—25 мм.

СВАРКА ПЛАВЛЕНИЕМ

Процесс сварки плавлением состоит из ряда последовательных стадий: нагрева и расплавления основного и присадочного металла, смешивания жидкого основного и присадочного металлов, охлаждения и кристаллизации

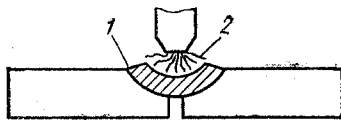


Рис. 154. Схема сварки плавлением:

1 — сварочная ванна; 2 — сварочное пламя

металла соединения (шва). Схема сварки плавлением показана на рис. 154.

Сварка металлов плавлением в сущности является металлургическим процессом, который имеет ряд характерных особенностей: незначительный объем металла, находящегося в расплавленном состоянии, высокую удельную мощность источника и тепла и соответственно высокую степень концентрации тепла, высокую температуру процесса (2700—3000°С) и большие скорости расплавления и затвердевания металла в месте сварки (сварочной ванне).

При сварке плавлением происходит: окисление наплавленного металла и выгорание его составных элементов, легирование наплавленного металла и его раскисление, диффузия между наплавленным и основным металлом, выравнивание их состава и поглощение наплавленным металлом различных газов (азота и др.).

Окисление наиболее резко проявляется при *дуговой электросварке* голым металлическим электродом.

При *газовой сварке* средняя температура течения процесса гораздо ниже, чем при дуговой; соответственно этому уменьшается и активность газовой фазы. Окисление приводит к выгоранию составных элементов металла шва, а это в сочетании с влиянием включений нитридов и окислов обуславливает понижение механических свойств сварных соединений.

Раскисление наплавленного металла обеспечивается за счет содержания в основном и присадочном металле кремния, марганца, углерода и других элементов. Это

и некоторой степени противодействует насыщению шва кислородом.

Сварочная наука и техника ищут методы и режимы осуществления сварных соединений, которые бы обеспечивали защиту наплавленного металла от выгорания полезных примесей и от насыщения его азотом и кислородом.

При газовой сварке для улучшения свариваемости и защиты от окружающей среды применяют различные флюсы, а при электрической дуговой сварке применяют качественные электроды, имеющие специальные покрытия, активно участвующие в сварочном процессе.

Для защиты зоны сварки от вредного влияния кислорода воздуха при газовой сварке широко используется окись углерода и водорода, а при дуговой сварке в покрытие электродов вводят различные органические вещества, при сгорании которых образуется газовая защитная оболочка около дуги. При электрохимической сварке дугу, горящую между электродом и изделием, окружают водородом, иногда смесью водорода и окиси углерода или даже смесью азота и водорода.

В последнее время успешно применяют для защиты зоны сварки вакуум, аргон, гелий, углекислый газ или водяной пар.

При сварке плавлением обычно наблюдается *неравномерность* нагрева и быстрое охлаждение, что приводит к возникновению внутренних напряжений и остаточных деформаций в сварных конструкциях.

Кроме того, при сварке действует еще и *литейная усадка* наплавленного металла.

В сварочной практике различают *продольную и поперечную усадку*, причем в эти понятия включают влияние собственной литейной усадки и неравномерность нагрева.

Усадочные явления при сварке иногда вызывают образование *трещин* в сварных изделиях. В отдельных случаях наблюдается *коробление* изделий и *искажение* их размеров.

Специалистами-сварщиками проводятся мероприятия для предупреждения указанных явлений — до сварки, во время сварки и после сварки.

При сварке малоуглеродистых сталей плавлением в зоне перегрева происходит рост зерен, а при сварке

высокоуглеродистых сталей — закалка; выпадение карбидов в аустенитных сталях происходит в результате высокого нагрева переходной зоны основного металла.

Если наблюдается ухудшение механических свойств металла шва или смежных с ним переходных зон в основном металле, то при расчете сооружений принимают пониженные нормы допускаемых напряжений, либо сварные соединения необходимо подвергнуть термической обработке для повышения их механических свойств.

При изготовлении ответственных конструкций иногда применяют отжиг для улучшения физических свойств металла и снятия внутренних напряжений. На практике чаще применяют высокий отпуск сварных изделий при 600—650° С, обеспечивающий снижение остаточных напряжений.

При сварке сталей с повышенным содержанием углерода, особенно при сварке легированных сталей, под влиянием нагрева возникают резкие изменения физических и механических свойств в зоне термического влияния. Так, в углеродистых сталях по мере приближения к эвтектоидному составу растет чувствительность к перегреву, с которым связан рост зерен. Вместе с тем быстрое охлаждение металла шва является причиной его закалки и резких структурных переходов в зоне термического влияния. Предотвратить эти отрицательные явления можно путем предварительного подогрева сталей перед сваркой и термической обработки после сварки.

При сварке легированных сталей во многих случаях применяют закалку, т. е. процесс нагрева стали выше температуры превращения в твердый раствор с последующим быстрым охлаждением в воде или масле.

Для некоторых видов нержавеющей сталей закалка после сварки необходима, чтобы восстановить антикоррозионные свойства, утрачиваемые при медленном охлаждении в процессе сварки.

При закалке в сварных узлах возникают значительные внутренние напряжения вследствие объемных изменений и неравномерности охлаждения. Для снятия этих напряжений сварные узлы после закалки подвергают отпуску.

Сварка плавлением отличается значительной универсальностью; современными сварочными источниками нагрева легко могут быть расплавлены почти все металлы; возможно соединение и разнородных металлов.

Глава III

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

1. ВИДЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

Электрическая дуговая сварка в настоящее время является важнейшим промышленным видом сварки металлов и занимает по числу действующих установок, заня-

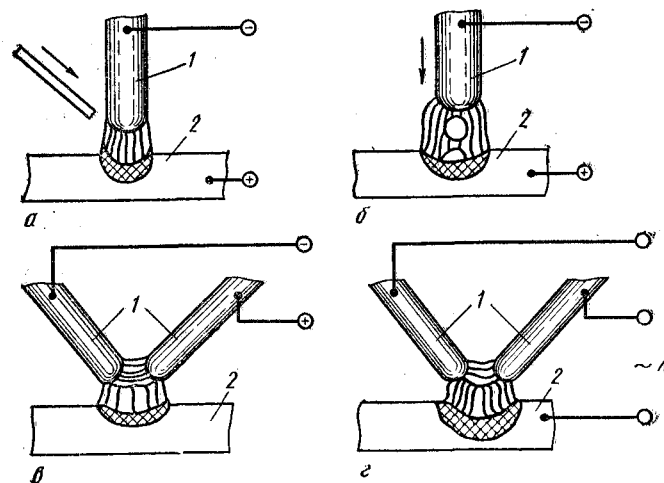


Рис. 155. Способы электродуговой сварки:

а — неплавящимся электродом (способ Бенардоса); б — плавящимся электродом (способ Славина); в — сварка дугой косвенного действия; г — сварка трехфазной дугой

тых рабочих и стоимости выпускаемой продукции, первое место среди других способов сварки.

Источником тепла при дуговой сварке служит электрическая дуга, которая горит между двумя электродами; при этом, как правило, одним электродом является свариваемая заготовка. В зависимости от материала и

количества электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие способы дуговой сварки:

сварка неплавящимся электродом (рис. 155, а) — угольным (способ Бенардоса) или вольфрамовым. Соединение осуществляется либо путем расплавления только одного основного металла 2, либо с применением присадочного металла;

сварка плавящимся электродом по способу Славянова (рис. 155, б). Электрод 1 подается в сварочную ванну жидким металлом;

сварка дугой косвенного действия (рис. 155, в). Дуга горит между двумя плавящимися или неплавящимися электродами 1, основной металл 2 нагревается и плавится теплом, излучаемым столбом дуги;

сварка трехфазной дугой (рис. 155, г). Два электрода 1 и деталь 2 подключены к разным фазам трехфазного тока; дуга возникает между электродами, а также между каждым электродом и основным металлом.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРОЧНАЯ ДУГА И ЕЕ СВОЙСТВА

Электрическая дуга является мощным электрическим разрядом в ионизированной газовой среде. При низкой температуре газ не проводит электрический ток. Газ может проводить электрический ток лишь в том случае, если в газе появляются электрические частицы — ионы, и в этом случае его называют ионизированным. При дуговом разряде выделяется значительное количество тепла, происходит *ионизация газов*.

Сильно ионизированный газ столба электрического разряда — дуги обладает повышенной электропроводностью, приближающейся к электропроводности металлов, и обеспечивает поддержание устойчивого разряда при прохождении тока. Основаниями столба дугового разряда служат резко ограниченные области на поверхности электродов — электродные пятна (катодные и анодные).

Ионизация газа происходит в основном в результате соударений молекул с электронами, имитирующими с поверхности отрицательного электрода (катода). С увеличением силы тока увеличивается кинетическая энергия электронов.

В дуге происходит взаимная бомбардировка катода положительными ионами и анода отрицательными ионами и электронами; в результате этого кинетическая энергия частиц переходит в тепловую и происходит нагрев и расплавление электрода и основного металла.

На рис. 156 схематически показан процесс зажигания дуги при сварке. Он состоит из трех этапов: короткое замыкание электрода на заготовку, отвод электрода на расстояние 3—6 мм и возникновение устойчивого дугового разряда.

Короткое замыкание (рис. 156, а) производится с целью разогрева торца электрода 1 и основного металла

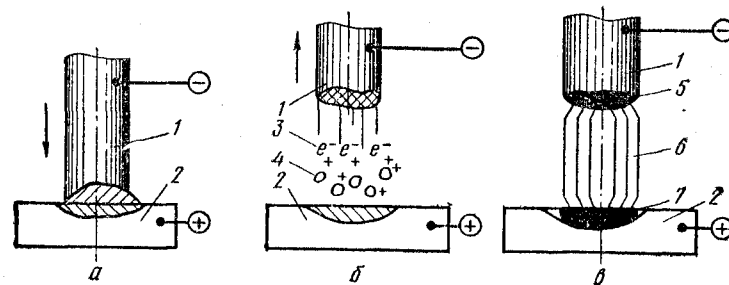


Рис. 156. Зажигание дуги при сварке

в зоне контакта с электродом 2. После *отвода электрода* (рис. 156, б) с его разогретого торца, являющегося катодом, под действием электрического поля происходит эмиссия электронов 3. Столкновение быстро движущихся по направлению к аноду электронов с молекулами газов и атомами паров металлов приводит к их ионизации 4. В результате дуговой промежуток становится электропроводным и через него начинается разряд электрического тока. Процесс зажигания дуги заканчивается возникновением *устойчивого дугового разряда* (рис. 156, в).

Электрическая дуга является концентрированным источником тепла с очень высокой температурой. Температура столба дуги 6 достигает 6000°С, а температура анодного 7 и катодного 5 металла находится в пределах 2000—3000°С.

Электрические параметры сварочных дуг могут изменяться в весьма широких пределах. В наиболее важ-

ной для практики дуге прямого действия применяются токи 1—3000 А при напряжении дуги 10—50 В. Мощность дуги может изменяться от 0,01 до 150 кВт, т. е. в 15000 раз. Такой широкий диапазон мощностей позволяет применять дуги для сварки металлов от самых малых до весьма больших толщин, от мельчайших деталей до самых больших и тяжелых изделий, конструкций и сооружений.

Напряжение дуги, т. е. напряжение между концами ее электродов существенно зависит от длины дуги и силы тока в ней, а также от материала и размеров электродов, состава и давления газа, теплового состояния дугового столба и т. д.

Для определения напряжения дуги упрощенно пользуются следующей эмпирической формулой:

$$V = a + bL,$$

где V — напряжение дуги, В;

L — длина дуги, мм;

a и b — постоянные коэффициенты, определяемые опытным путем и зависящие от материала электродов, состава газовой среды и др. (в частности, a — сумма катодного и анодного падения напряжения дуги — равна 10—12 В при сварке стальным электродом; b — среднее падение напряжения на единицу длины дуги, равное в этом случае 2—3 В на 1 мм).

Для зажигания и поддержания дуги при обычной сварке в случае использования стальных электродов достаточно напряжение 45—50 В, а при использовании угольных электродов 55—65 В. После установления дугового разряда напряжение падает и составляет 18—25 В при стальных электродах и 30—40 В — при угольных.

Источником питания электродуги для сварки может быть *постоянный и переменный ток*. При дуговом разряде температура дуги достигает в центре осевой ее части 6000—7000° С в зависимости от силы и плотности тока.

Для получения высококачественного сварного соединения необходимо обеспечить устойчивое горение дуги и не допускать ее прерывания.

Расстояние между электродом и свариваемым металлом при сварке плавящимся электродом должно быть не более 0,6—0,8 диаметра электрода; практически дли-

на дуги в этом случае составляет 3—4 мм. При короткой дуге происходит меньшее насыщение металла кислородом и азотом, снижающими прочность сварного шва.

Устойчивость дуги при использовании постоянного тока значительно выше, чем при применении переменного тока. При питании переменным током дуга менее устойчива потому, что при нормальной частоте (50 Гц) происходит синусоидальное изменение напряжения и тока; ток в секунду 100 раз меняет свое направление, дуга периодически гаснет и зажигается и при наличии недостаточной ионизации между электродами дуга может прерваться.

Повышение устойчивости дуги достигается применением переменного тока повышенной частоты (150—450 Гц), использованием ионизирующих покрытий электродов (K_2CO_3 , $CaCO_3$) или наложением токов высокой частоты (т. в. ч.) на основной ток дуги, при котором устойчивость дуги обеспечивается за счет непрерывной ионизации дугового столба т. в. ч. В этом случае на электрод подается, кроме напряжения от основного источника питания, одновременно и напряжение повышенной частоты от прибора (осциллятора), достигающее 10^6 Гц, и напряжение 2500—3000 В при небольшой мощности 0,2—0,3 кВт.

При сварке применяют *прямую и обратную* полярность. При прямой полярности минус источника тока подключается к электроду, а плюс — к свариваемой детали, а при обратной полярности плюс подключается к электроду, а минус — к свариваемой детали.

При сварке угольным электродом на постоянном токе на прямой полярности дуга легче возбуждается и устойчивее, чем при сварке на обратной полярности. При использовании металлических плавящихся электродов полярность дуги меньше влияет на устойчивость дуги, и сварка осуществляется как на переменном, так и на постоянном токе с прямой и обратной полярностью в зависимости от состава покрытия электродов и флюсов.

3. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Для питания сварочной дуги применяют специальные источники тока. Если при обычном питании током осветительных ламп, электродвигателей и др. следует иметь

постоянное напряжение в питающей сети в виде прямой линии (рис. 157, а), параллельной оси абсцисс, то при питании сварочной дуги того или иного типа необходим источник питания тока со специальной вольтамперной характеристикой (рис. 157, б).

Опытная зависимость напряжения дуги от тока при постоянных значениях длины дуги изображена на рис. 157, в.

В случае использования силы тока, обычно применяемого при современной дуговой ручной сварке, напряжение

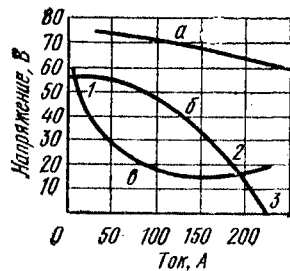


Рис. 157. Внешние характеристики источника тока к сварочной дуге:

а — характеристика обычного источника тока; б — характеристика сварочного тока; в — характеристика дуги

дуговой сварке металлическим электродом с применением постоянного тока 45—65 В, а с применением переменного тока — примерно 55—100 В.

Питание сварочной дуги при сварке на постоянном токе осуществляется от специального сварочного генератора. Сварочные генераторы подразделяются на *однопостовые* для питания одного сварочного поста и *многопостовые*, предназначенные для питания одновременно нескольких сварочных постов. Кроме того, генераторы бывают стационарные и передвижные, работающие от электродвигателя или от двигателя внутреннего сгорания.

В промышленности значительное количество сварочных постов работает от переменного тока. Питание сварочных постов переменным током производится от сва-

рочных трансформаторов, понижающих напряжение, существующее в заводской сети (с 220 или 380 до 60—65 В). При сварке переменным током падающую внешнюю характеристику получают включением последовательно с дугой в сварочную цепь достаточного индуктивного сопротивления. Это достигается включением во вторичную цепь трансформатора последовательно с дугой индуктивного сопротивления дроссельной катушки, отделенной от трансформатора (рис. 158, а) или объединенной

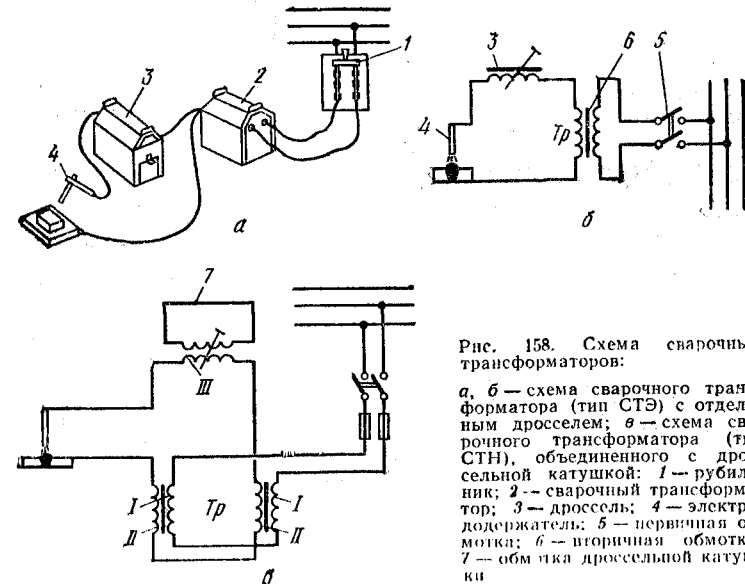


Рис. 158. Схема сварочных трансформаторов:

а, б — схема сварочного трансформатора (тип СТЭ) с отдельным дросселем; в — схема сварочного трансформатора (тип СТН), объединенного с дроссельной катушкой: 1 — рубильник; 2 — сварочный трансформатор; 3 — дроссель; 4 — электрододержатель; 5 — первичная обмотка; 6 — вторичная обмотка; 7 — обмотка дроссельной катушки

с ним в одно целое (рис. 158, б). Имеются сварочные трансформаторы (тип СТН) с увеличенной индуктивностью без дроссельной катушки.

Первичная обмотка трансформатора (рис. 158, в) подключается к силовой сети, а вторичная — к сварочному посту. Сердечник дроссельной катушки состоит из двух частей — неподвижный, на которой имеются витки катушки, и подвижной, перемещаемой поворотом ручки. Электрическое сопротивление дроссельной катушки

уменьшается при увеличении зазора s между подвижной и неподвижной частями сердечников, в связи с чем увеличивается сила тока в сварочной цепи; при уменьшении зазора между частями сердечника возрастает электрическое сопротивление дроссельной катушки и уменьшается величина сварочного тока.

Сварочные трансформаторы с объединенной с ними дроссельной катушкой СТН, разработанные акад. В. П. Никитиным, предназначаются для питания дуги при сварке на токах 500, 1000, 2000 А. На рис. 158, б приведена схема сварочного трансформатора СТН-500 (СТН-700). Питание сварочной дуги может осуществляться выпрямителем, представляющим сочетание сварочного трансформатора с выпрямительным устройством, в котором используются выпрямительные элементы — селеновые, германиевые или кремниевые. К. п. д. таких сварочных агрегатов значительно превышает к. п. д. моторогенераторных установок.

4. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ — ЭЛЕКТРОДЫ И ФЛЮСЫ

При электродуговой сварке применяют электроды металлические *плавящиеся* (стальные, чугунные, из цветных металлов) и *неплавящиеся* угольные, графитовые и вольфрамовые (при сварке в инертных газах). Металлические плавящиеся электроды применяют при сварке по способу Н. Г. Славянова; угольные, графитовые — по способу Н. Н. Бенардоса, вольфрамовые — при аргоно-дуговой сварке.

Угольные электроды изготовляют диаметром 6—30 и длиной до 300 мм. Стальные электроды для ручной сварки изготовляют из специальной сварочной проволоки диаметром 1—12 мм по ГОСТ 2246—70 и специальным ТУ. Сварочная проволока применяется углеродистая, легированная и высоколегированная. Содержание углерода в проволоке, как правило, ограничивается, что улучшает пластичность наплавленного металла. Углеродистая сварочная проволока марки Св08 содержит углерода не свыше 0,10%, применяется для изготовления ряда электродов, а также для автоматической сварки.

Для повышения прочности наплавленного металла применяют сварочную проволоку с повышенным содер-

жанием марганца — Св. 08Г (0,80—1,10% Mn) и Св. 10Г2 (1,50—1,90% Mn). Марганец раскисляет металл, препятствует образованию горячих трещин.

Легированную и высоколегированную сварочную проволоку применяют для сварки соответственно легированных и высоколегированных изделий. При автоматической сварке проволока используется в виде мотков.

Для ручной дуговой сварки проволоку нарезают длиной 250—450 мм. Электроды диаметром 1—2 мм применяют для сварки металла толщиной до 2 мм, а электроды диаметром 3 мм — для сварки металлов толщиной 2—4 мм. Для сварки металлов толщиной 5—10 мм используются электроды диаметром 4—5 мм, а при сварке изделий большей толщины — электроды диаметром 5—8 мм.

Стальные электроды для ручной электродуговой сварки покрывают специальными обмазками для защиты расплавленного металла от насыщения его кислородом и азотом, для создания устойчивости горения дуги и придания наплавленному металлу специальных свойств, зависящих от наличия легирующих элементов в составе обмазки. Электродные обмазки применяются двух видов — тонкие и толстые. Тонкие обмазки электродов (обычно мел и жидкое стекло), составляют 1—5% от массы электродного стержня и предназначены только для увеличения устойчивости горения дуги; их применяют для сварки малоответственных изделий из углеродистой стали.

Для сварки ответственных изделий применяют электроды с толстой обмазкой (покрытием). Толщина слоя покрытия обычно составляет около 1—3 мм при относительной массе покрытия около 15—35% от массы электродного стержня. В состав покрытия электродов входят шлакообразующие, газообразующие, легирующие и клеящие или связующие вещества и раскислители.

Шлакообразующие и клеящие вещества, а также раскислители имеются, как правило, во всех качественных толстых покрытиях. Остальные составляющие вводят не во все покрытия. Шлакообразующие вещества предназначены для повышения устойчивости дуги и для защиты расплавленного металла шлаковой оболочкой от воздействия кислорода и азота. Они состоят в основном из окислов металлов и металлоидов в виде титано-

вого концентрата (ильменита), марганцевой руды (пиролюзита), полевого шпата, мрамора, мела и др.

Газообразующие составляющие используются в покрытиях для создания в процессе плавления электрода газовой защитной среды вокруг столба дуги и расплавленного металла. Защитная среда состоит либо из окиси углерода, либо из некоторых продуктов распада углеводородов. Эти газы предохраняют расплавленный металл от воздействия кислорода и азота воздуха, но сами являются окислителями, в связи с чем в покрытия вводят достаточное количество раскислителей.

Легирующие составляющие и раскислители (ферромарганец, ферросилиций, феррованадий, феррохром, ферротитан, алюминий и др.) вводят в обмазку в виде тонкоизмельченного порошка вместе со шлакообразующими и газообразующими материалами. Их назначение — повышение механических свойств наплавленного металла и придание ему специальных свойств (жаростойкости, износостойкости и др.).

При сварке часть легирующих элементов стержня и электродного покрытия выгорает, а другая часть переходит в наплавленный металл.

Для сварки высоколегированных сталей применяют электроды из высоколегированной проволоки, имеющей примерно такой же химический состав, как и свариваемый металл. В состав обмазки таких электродов, кроме шлакообразующих и газообразующих материалов, вводят легирующие элементы для компенсации их утрат.

В качестве раскислителей при сварке сталей применяют марганец, титан, кремний, алюминий, которые имеют большее сродство с кислородом, чем железо, благодаря чему происходит восстановление железа из его окислов.

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству сварного шва, применяют электроды Э34, Э42 и др. — для сварки углеродистых и низколегированных сталей, ЭМ, ЭХМ и др. — для сварки теплоустойчивых среднелегированных сталей, ЭА-3Мб, ЭА-2Б (аустенитного типа), ЭФ-13 и др. (ферритного типа), ЭНГ-62, ЭНГ-50 и др. — для наплавки с целью получения высокой твердости.

Большое значение имеет марка применяемого типа электрода, характеризующая состав покрытия электро-

да, его технологические свойства, род и полярность тока для сварки и наплавки и пр.

Распространенные высококачественные электроды марок ОММ-5 и УОНИ 13/55, соответствующие маркам Э42 и Э55, имеют следующие составы обмазок: электрод ОММ-5 — обмазка содержит 37% титанового (ильменитового) концентрата, 21% марганцевой руды (пиролюзит), 13% полевого шпата, 20% ферромарганца, 9% крахмала и 30% (от массы компонента) жидкого стекла; электрод марки УОНИ 13/55 — обмазка содержит 2—54% мрамора, 15% плавикового шпата, 9% кварца, 5% ферромарганца, 5% ферросилиция, 12% ферротитана и 30% (от массы компонента) жидкого стекла.

Большинство электродов изготовляют на специальных заводах или в электродных мастерских, где производственные операции (рубка проволоки, раздробление, помол и перемешивание материалов со связующими, покрытие электродов обмазкой) полностью механизированы.

Нанесение покрытий производится либо окунанием электродов в ванну с жидкой обмазочной массой с последующим медленным подъемом электрода из ванны, либо более совершенным методом — нанесением покрытия на электрод опрессовкой специальными электродными прессами, работающими под давлением 40—50 ат. В этом случае электродный стержень пропускается через мундштук пресса и вместе с ним выдавливается электродная масса, равномерно покрывающая со всех сторон стержень. При выходе из пресса один конец электрода очищают от обмазки для захвата его электрододержателем. Производительность таких прессов — 100—400 электродов в минуту. Покрытые электроды подвергают сушке при умеренных температурах, зависящих от состава.

5. РУЧНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА

Сварочный пост для ручной электродуговой сварки должен иметь следующее оборудование: распределительный щит, снабженный амперметром для измерения сварочного тока, вольтметром и сигнальной лампой, показывающей силу напряжения в сварочной сети; сварочный агрегат; рабочий стол; кабину или ширму; моло-

ток и щетку; электрододержатель; гибкий кабель для подвода тока; электроды; сборочно-сварочные приспособления. Сварщика необходимо обеспечить спецодеждой: брезентовым костюмом, сапогами, брезентовыми или кожаными перчатками и предохранительным щитком или шлемом со специальными темными стеклами для защиты глаз и лица от действия инфракрасных и ультрафиолетовых лучей, излучаемых электродугой.

Режим электродуговой сварки зависит от диаметра электрода и величины сварочного тока. Выбор величины сварочного тока производится в зависимости от диаметра, марки электрода и положения его в пространстве, толщины, состава свариваемого металла, рода тока и типа соединений. С увеличением толщины свариваемого металла соответственно увеличивается и сила сварочного тока.

Зависимость между силой тока и диаметром электрода выражается уравнением

$$I = Kd_s,$$

где I — сила тока при сварке, А;

K — коэффициент;

d_s — диаметр электрода, мм.

Значение коэффициента K для сварки малоуглеродистой стали металлическим электродом составляет 40—50, для сварки высоколегированной стали 25—40, углеродистым электродом 5—8 и графитовым электродом 18—22 А/мм.

Для ускорения сварки диаметр электрода можно увеличить, но при этом необходимо соблюдать условие удобства сварки и отсутствие прожога металла.

Количество наплавленного металла при сварке определяется по формуле

$$G = at,$$

где G — количество наплавленного электродного металла, г;

a — коэффициент наплавки электрода при ручной сварке (7—16 г/А·ч), определяемый опытным путем;

I — сварочный ток; А;

t — время горения дуги, ч.

Для установки дугового разряда производят замыкание электрода на изделии с последующим быстрым отво-

дом электрода на 3—5 мм. При таком разряде выделяющаяся энергия нагревает газ, оплавляет и частично испаряет материал электрода и обеспечивает ионизацию газового столба для устойчивого горения дуги.

Процесс создания нормального дугового разряда для выполнения сварки от начала замыкания занимает несколько десятых долей секунды.

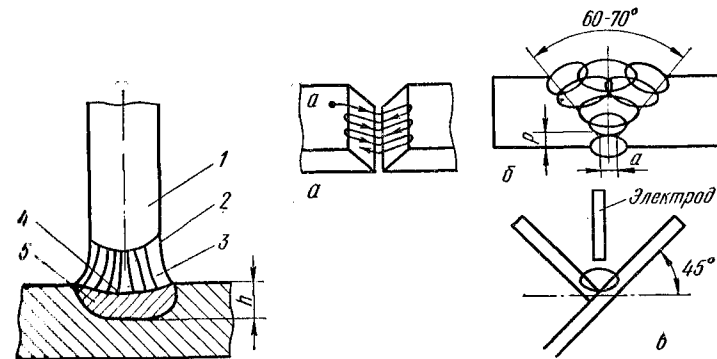


Рис. 159. Схема сварочной дуги при сварке металлическим электродом

Рис. 160. Схема движения электрода (а) многослойная сварка (б) и сварка «в лодочку» (в)

На рис. 159 показана схема сварочной дуги при сварке металлическим электродом 1. Столб дуги 2, окруженный факелом 3, имеет, как правило, коническую форму. Поверхность жидкой ванны 4 имеет углубление, так называемый кратер, образующийся под давлением механических сил, создаваемых дугой. Основной металл расплавляется на глубину h провара.

Для получения качественного шва при сварке в нижнем положении сварщик располагает электрод под углом 15—20° и перемещает его по мере расплавления шва для сохранения постоянной длины дуги 3—5 мм и вдоль оси шва для выполнения разделки шва металлом. При этом обычно концом электрода совершают поперечные колебательные движения для получения валиков требуемой ширины.

При многослойной сварке (рис. 160, а) сначала приваривают корень шва и затем заполняют разделку слоями (валиками). После послойной зачистки металла от

окислов и шлака накладывают остальные валики (рис. 160, б).

Для повышения качества сварки при выполнении ее угловыми швами изделие часто располагают так, чтобы место сопряжения полки и стенки находилось в нижнем положении. Такой способ сварки называется сваркой «в лодочку» (рис. 160, в).

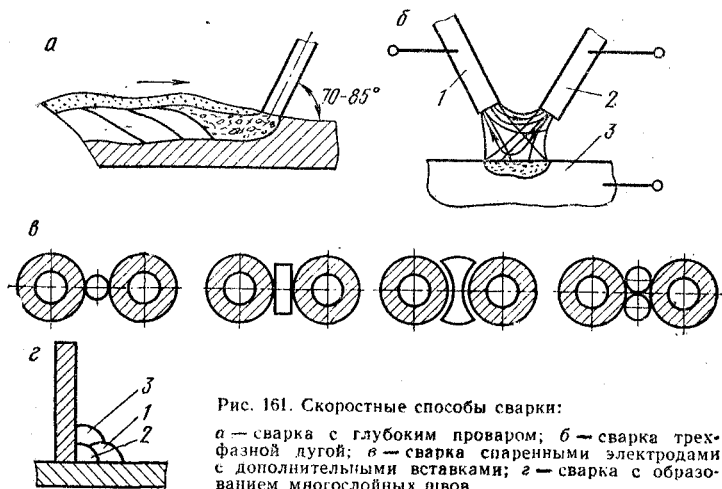


Рис. 161. Скоростные способы сварки:

а — сварка с глубоким проваром; б — сварка трехфазной дугой; в — сварка спаренными электродами с дополнительными вставками; г — сварка с образованием многослойных швов

Сварка вертикальных швов выполняется короткой дугой с целью облегчения перехода металла электрода на основной металл. Удобнее и проще производить сварку снизу вверх, при этом на наплавленный металл откладываются последующие слои металла при движении электрода вверх.

Сварка угольными электродами производится на постоянном токе при прямой полярности. Зажигание дуги осуществляется между угольным электродом и изделием путем замыкания электрода на изделие и последующего его отвода на 10—20 мм. Угольный электрод не пристает к металлу при таком коротком замыкании. Дуга может быть растянута до 30—50 мм. Сварку тонких изделий производят без присадочного металла, получая прочное соединение за счет расплавления отбортованных кромок. Производительность в этом случае при толщине 1—3 мм достигает 50—60 м/ч.

Сварку угольными электродами часто выполняют с применением присадочного металла, в частности, закладывая его в разделку шва.

Для увеличения производительности труда при ручной электродуговой сварке часто применяют электроды увеличенного диаметра с соответственным увеличением силы тока.

При использовании электродов с утолщенным покрытием, расплавляемым позднее, чем электродный стержень, производят сварку с глубоким проваром (рис. 161, а). Электрод располагают под углом 70—85°, плотно прижимают кромкой обмазки к изделию и перемещают вдоль выполняемого шва. При таком способе сварки вследствие более позднего расплавления обмазки из нее в конце электрода образуется чехол, который защищает металл от воздействия воздуха, в результате чего уменьшается угар металла и его разбрызгивание. Это позволяет применить повышенную силу сварочного тока и проплавлять металл на большую глубину. Производительность увеличивается в 1,5—2 раза по сравнению с обычным способом сварки.

Высокая производительность достигается при сварке трехфазной дугой (рис. 161, б), когда две дуги образуются между электродами 1, 2 и свариваемым изделием 3 и одна — между электродами. Подключение к сети производится одновременно к трем фазам: одна — к изделию и две — к двум электродам. Питание дуги осуществляется от многофазового сварочного трансформатора или однофазных сварочных трансформаторов, включая три трансформатора звездой или треугольником. Производительность сварки увеличивается в 2—2,5 раза и уменьшается расход электроэнергии на 20—25%.

Для увеличения производительности при сварке трехфазной дугой применяют спаренные электроды с толстой обмазкой и дополнительными металлическими вставками между электродами (рис. 161, в). При сварке многослойных швов (рис. 161, г) в угол наплавляют первый валик, вторым валиком перекрывают на 40—60% первый валик, третий валик накладывают в угол, как и первый, и т. д. При такой последовательности наложения валиков предыдущий плавится вместе с новой порцией шлака в зоне дуги, защищает металл от окисления и обеспечивает повышение производительности.

6. АВТОМАТИЧЕСКАЯ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

Наибольшее применение имеет автоматическая сварка плавящимся металлическим электродом. Некоторые современные автоматы позволяют при автоматической сварке поддерживать длину дуги в пределах $\pm 0,2$ — $0,3$ мм, что невозможно обеспечить при ручной сварке. Автоматическая сварка дает более стабильное качество шва. При автоматической сварке под слоем флюса производительность повышается в 2—8 раз по сравнению с ручной дуговой сваркой.

Широко применяют автоматическую и полуавтоматическую сварку плавящимся электродом под слоем флюса и в среде защитных газов.

При сварке дуга горит под слоем расплавляющегося флюса. Флюс насыпается на изделие слоем толщиной 50—60 мм, в результате чего дуга горит не в воздухе, а в газовом пузыре, находящемся под расплавляемым при сварке флюсом и изолированным от непосредственного контакта с воздухом. Этого достаточно для устранения разбрызгивания жидкого металла и нарушения формирования шва даже при больших токах.

При сварке под слоем флюса обычно применяют силу тока до 1000—1200 А, что при открытой дуге невозможно. При увеличении силы сварочного тока происходит сильное разбрызгивание металла и нарушение правильного формирования шва. Таким образом, при сварке под слоем флюса можно повысить сварочный ток в 4—8 раз по сравнению со сваркой открытой дугой, сохранять при этом высокое качество сварки, хорошее формирование шва при высокой производительности.

При сварке под слоем флюса металл шва образуется за счет расплавления основного металла (около $\frac{2}{3}$) и лишь примерно $\frac{1}{3}$ за счет электродного металла. Сварку изделий толщиной до 15—20 мм можно производить без разделки кромок. Потери металла на угар и разбрызгивание при этом относительно небольшие — не более 2% от массы расплавленного электродного металла. Дуга под слоем флюса более устойчива, чем при открытой дуге.

На рис. 162, а схематически показан процесс автоматической сварки под слоем флюса. Сварка производится

голой электродной проволокой 4, которая с катушки 3 подается в зону горения 1 дуги сварочной головкой автомата 2, перемещаемой вдоль шва. Впереди головки из бункера 2 по трубе в разделку шва поступает зернистый флюс, который, расплавляясь в процессе сварки, равномерно покрывает шов, образуя твердую корку шлака 7. Остальная часть флюса отсасывается в бункер по трубке 6.

На рис. 162, б схематически дан продольный разрез зоны сварки под флюсом. При горении дуги основной металл 7 и электродная проволока 1 расплавляются под

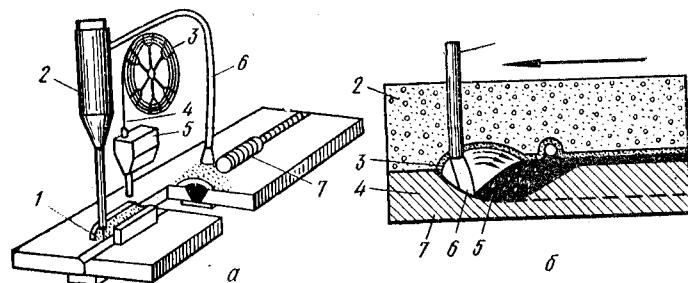


Рис. 162. Схема автоматической сварки под слоем флюса (а) и продольного разреза зоны сварки (б)

флюсом 2, который под действием высокой температуры дуги также расплавляется; в результате горения дуги происходит в газовом пузыре 6, окруженном пленкой жидкого шлака 3, защищающей столб дуги и всю зону сварки от воздействия воздуха (см. рис. 162, б жидкий металл 5 и оплавленный металл 4).

Дуга плавит металл и вытесняет его; газовый пузырь наполняется металлом электрода и расплавленным основным металлом. Металл сварочной ванны хорошо перемешивается, и сварной шов обладает достаточно хорошими механическими свойствами.

Флюс для автоматической сварки должен обеспечить при высокой производительности сварки устойчивое горение дуги, хорошее формирование шва, надлежащий химический состав, структуру и механические свойства расплавленного металла и сварного соединения. При плавлении флюса не должны выделяться в большом количестве вредные газы и дым.

Для автоматической сварки применяют плавные и керамические неплавленные флюсы. Керамические неплавленные флюсы, предложенные академиком К. К. Хреновым, представляют собой по существу электродное покрытие из крупинок — гранул размером 1—3 мм, изготовленных из материалов, входящих в обычные покрытия электродов для электродуговой ручной сварки. Крупинки получают из сырой массы на специальной машине — грануляторе и подвергают сушке и затем прокаливанию при соответствующей температуре (300—400° С). Средняя насыпная масса керамического флюса составляет около 1,5 г/см³.

Для сварки малоуглеродистых сталей применяют ряд керамических флюсов, например К-10 следующего состава: 52,0% марганцевой руды; 10,0% плавикового шпата; 28,0% кварцевого песка, 10% ферросилиция марки ФС 75, 19,0% жидкого стекла плотностью 1,35.

Керамические флюсы обеспечивают хорошие свойства сварных соединений, позволяют при использовании дешевой малоуглеродистой электродной проволоки легировать наплавленный металл соответствующими элементами, имеющимися в флюсе.

Наибольшее применение в промышленности нашли плавные флюсы с высоким содержанием MnO (до 45%) при использовании малоуглеродистой электродной проволоки. Один из лучших плавных флюсов ОСЦ-45, представляющий собой силикат марганца MnO·SiO₂, к которому для снижения температуры плавления, улучшения вязкости и технологических свойств добавляется фтористый кальций. Кроме этих основных составляющих флюса, в нем имеются случайные примеси и загрязнения. Состав флюса ОСЦ-45: 43—45% SiO₂, 38—43% MnO; 6—8% CaF₂, до 5% CaO; остальное — случайные примеси.

Полуавтоматическая сварка осуществляется по такой же схеме, только при этом применяется более тонкая электродная проволока, а полуавтомат подается сварщиком вручную, вдоль выполняемого шва. Автоматическая установка для дуговой сварки имеет следующие основные части: сварочную автоматическую головку, обеспечивающую возбуждение и поддержание дуги, а также подачу проволоки в дугу; механизм для перемещения дуги вдоль шва или самой детали относительно непод-

цовой линзой. При потреблении энергии 50 кВт в луче удается сконцентрировать до 15 кВт; при этом можно прожечь лист стали.

Уже сегодня, анализируя выполнение работы у нас в стране и за рубежом, можно сказать, что в ближайшие годы будут найдены практические способы использования солнечного света для технологических целей — сварки, плавки и т. п.

Глава IV

ГАЗОВАЯ СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

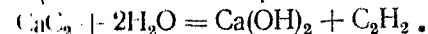
1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ГАЗОВОЙ СВАРКИ

При газовой сварке процесс получения неразъемного соединения деталей осуществляется газокислородным пламенем. Направленное на свариваемый металл высокотемпературное газовое пламя приводит к нагреву и расплавлению кромок свариваемых деталей и присадочного прутка, применяемого для заполнения разделки и получения необходимого сечения шва.

Газовая сварка отличается простотой и дешевизной оборудования. Применяется главным образом для сварки цветных металлов, чугуна, малоуглеродистых и легированных сталей небольшой толщины, для наплавки твердых сплавов и особенно при ремонтных работах, при прокладке и монтаже труб.

2. ГАЗЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СВАРКЕ

Для газовой сварки и резки металлов применяют ацетилен, водород, метан, пропан, природный газ и светильный газ, пары бензина и керосина; чаще всего применяют ацетилен, который выделяет большое количество тепла и дает при сгорании в смеси с кислородом высокую температуру пламени (3150° С) и выделяет наибольшее количество тепла (11470 ккал/м³). Ацетилен легко получают из карбида кальция при воздействии на него воды



При разложении 1 кг карбида кальция образуется 230—300 л ацетилена, который воспламеняется при тем-

пературе 420°C , взрывоопасен при сжатии свыше 1,75 ат и при длительном соприкосновении с медью и серебром.

Кислород применяется при сварке и резке в газообразном состоянии. При температуре -183°C и нормальном давлении кислород превращается в жидкость голубого цвета. При испарении 1 л жидкого кислорода образуется 790 л газа. Кислород получается в специальных

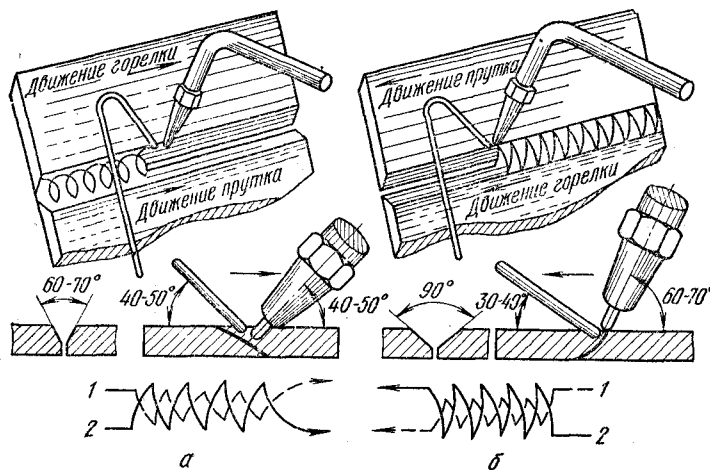


Рис. 172. Виды газовой сварки:

а — правый способ сварки; б — левый способ сварки; 1 — проволока; 2 — горелка

разделительных аппаратах, охлаждающих воздух до жидкого состояния и отделяющих кислород от азота. На заводы кислород доставляется в газообразном состоянии в баллонах и в жидком виде в специальных транспортных танках, из которых затем его переливают в газификаторы. Далее кислород из газификаторов поступает по трубам в цех в газообразном состоянии.

Ацетилен для сварки можно использовать и в баллонах, где он находится в растворенном виде. Баллоны получают с централизованных баз снабжения. Баллоны для кислорода и ацетилена состоят из цельнотянутого стального сосуда с выпуклым дном и верхней сферической частью. На нижнюю часть баллона для устойчивости насажен в горячем состоянии башмак,

В горловину баллона ввертывают запорный клапан, предназначенный для выпуска газа из баллона и его наполнения. На горловине баллона насажено кольцо с внешней цилиндрической резьбой, на которую навертывают предохранительный колпак.

Кислородный баллон окрашивают в синий цвет, ацетиленовый — в белый. Ацетиленовый баллон наполняют

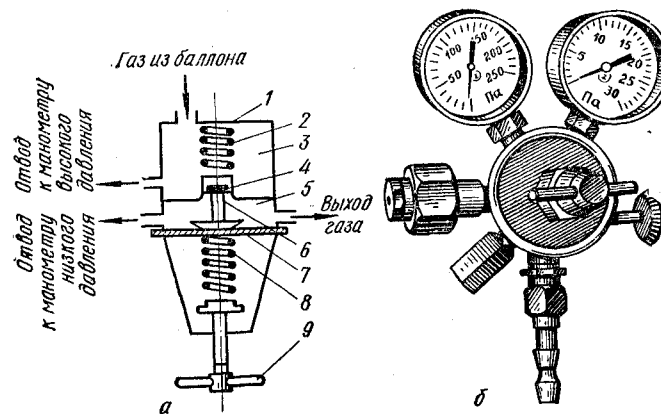


Рис. 173. Кислородный редуктор:

а — схема редуктора; б — общий вид редуктора РК53

ацетиленом под давлением 16 ат. Во избежание взрыва баллоны наполняют пористой массой (активированным углем), пропитанной ацетиленом. В мелких порах пористой массы ацетилен теряет свои взрывчатые свойства. Для понижения и регулирования давления кислорода и ацетилена пользуются редукторами. На рис. 172 приведена схема газосварочного поста.

Рабочее давление при сварке составляет для кислорода 1—5 ат, для ацетилена 0,1—1,5 ат. Редукторы (рис. 173) бывают одно- и двухступенчатые; последние понижают давление со 150 до 50 ат и с 5 ат до рабочего давления.

Применяются также редукторы обратного действия, в которых клапан расположен так, что газ из баллона прижимает клапан к седлу.

3. АППАРАТУРА ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Ацетилен получают в ацетиленовых генераторах, где происходит взаимодействие между карбидом кальция и водой.

Из 1 кг карбида кальция при действии на него воды выделяется около 320 л ацетилена.

Ацетиленовые генераторы делятся на передвижные и стационарные. Передвижные имеют относительно небольшую массу (до 50 кг без воды) и производительность

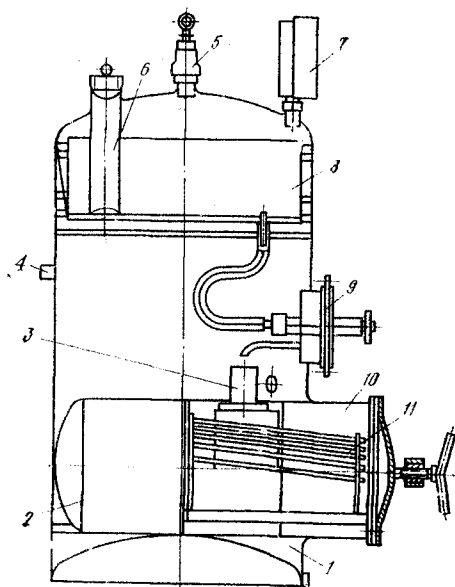


Рис. 174. Ацетиленовый генератор ГВР-1,25

до 300 л/ч. Стационарные генераторы рассчитаны на высокую производительность — до 100 тыс. л/ч. По давлению различают генераторы *низкого* (до 0,1 ат) и *среднего* (до 1,5 ат) давления.

Рассмотрим конструкцию переносного генератора ГВР-1,25 (рис. 174). В корпус генератора 1 вварена реторта 10, в которую помещена загрузочная сетка 11 с карбидом. Вода для реакции поступает из бака 8, вмон-

тированного в верхней части корпуса, через регулятор 9. До начала работы вода в бак 8 наливается через трубу 6. Выделившийся ацетилен проходит из реторты по трубе 3 в газгольдер, а затем по трубе 4 через водяной затвор — в сварочную горелку. Если отбора ацетилена нет (сварка не ведется), в газгольдере и реторте повышается давление, под действием которого вода вытесняется в камеру 2, а регулятор 9 закрывает подачу воды (при достижении 0,8 ат). При возобновлении отбора ацетилена давление падает, вода возвращается в переднюю камеру реторты, смачивает карбид, и выделение ацетилена возобновляется. Регулятор 9 снова начинает пропускать воду. Генератор снабжен манометром 7 и предохранительным клапаном 5. Во избежание перегрева ацетилена реторта охлаждается водой.

По специальным шлангам ацетилен направляется в сварочную горелку. По другим шлангам туда направляется кислород. Для понижения давления кислорода, отбираемого из баллона (150 ат и ниже), до рабочего (3—10 ат) и поддержания этого давления постоянным служит кислородный редуктор.

Сварочные горелки служат для образования газосварочного пламени. Горелки бывают низкого и среднего давления. В горелках среднего давления необходимое смешивание газов обеспечивается достаточно большим давлением ацетилена (порядка 0,25—0,5 ат). При низком давлении ацетилена (0,01—0,05 ат), чтобы обеспечить необходимое количество его в смеси, используется принудительное засасывание ацетилена при помощи разрежения, создаваемого кислородной струей на выходе из инжектора горелки. *Инжекторная горелка* получила наибольшее распространение в промышленности, так как она более безопасна в работе и может работать на низком и среднем давлении ацетилена. На рис. 175 представлена схема инжекторной горелки.

Кислород под давлением 3—4 ат поступает в горелку и через ниппель, регулировочный вентиль и трубку 1 попадает к инжектору 3. Выходя с большой скоростью из низкого канала инжекторного конуса 3, кислород создает значительное разрежение в камере 4 за инжектором и засасывает горючий газ, поступающий через ниппель и вентиль 2 в ацетиленовые каналы горелки, в камеру смешения 5, где и образуется горючая смесь. Далее го-

рючая смесь поступает по наконечнику 6 к мундштуку 7, на выходе из которого при сгорании образуется сварочное пламя.

Горелки этого типа имеют сменные наконечники с различными диаметрами выходных отверстий инжектора

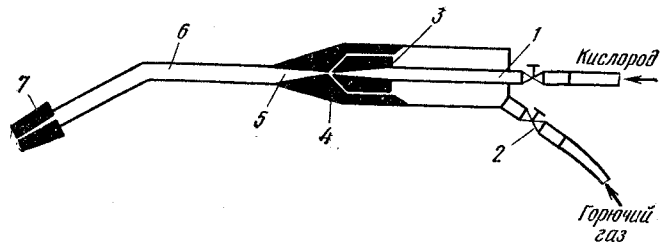
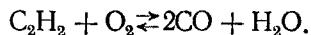


Рис. 175 Принципиальная схема инжекторной горелки

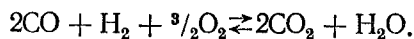
и мундштука, что обеспечивает возможность регулирования мощности газосварочного пламени.

4. СВАРОЧНОЕ АЦЕТИЛЕНО-КИСЛОРОДНОЕ ПЛАМЯ

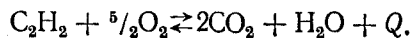
Ацетилено-кислородное пламя состоит из трех основных зон (рис. 176). Во внутренней части пламени 1 (ядре) происходит постепенный нагрев до температуры воспламенения газовой смеси, поступающей из мундштука. В зоне 2 происходит сгорание ацетилена за счет первичного кислорода, входящего в состав газовой смеси



Температура в этой зоне наивысшая. Она называется сварочной зоной и обладает восстановительными свойствами. Зона 3, в которой за счет атмосферного кислорода протекает вторая стадия горения ацетилена, называется факелом:



В результате реакции полного сгорания ацетилена образуется углекислый газ и пары воды:



Газовое пламя может быть *нормальным*, когда соотношение газов $O_2/C_2H_2=1$. Нормальным пламенем сваривают большинство сталей. При увеличении содержания кислорода $O_2/C_2H_2>1$ пламя приобретает голубоватый оттенок и имеет ядро острой формы. Такое пламя является *окислительным* и его используют только при сварке латуни, так как при таком характере пламени избыточный кислород образует с цинком тугоплавкие окислы, пленка которых препятствует дальнейшему испарению цинка. При избытке ацетилена $C_2H_2/O_2>1$ пламя становится коптящим, удлиняется и приобретает красноватый оттенок. Такое пламя называется *науглероживающим* и его применяют для сварки чугуна и цветных металлов.

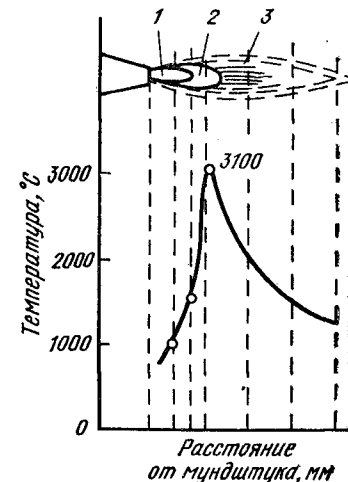


Рис. 176. Строение сварочного ацетилено-кислородного пламени и распределение температуры по его оси

Тепловая мощность газосварочного пламени определяется расходом ацетилена и ее подбирают по эмпирической формуле

$$P = A\delta,$$

где P — расход ацетилена, л/ч;

δ — толщина металла, мм;

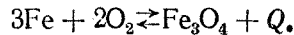
A — коэффициент, определяемый опытным путем.

Для углеродистых сталей, меди и алюминия A равно 100, 150 и 75 л/(ч·мм) соответственно. Присадочную проволоку для газовой сварки выбирают по ГОСТ 2246—70 в зависимости от состава свариваемого металла. Существенным отличием газовой сварки от дуговой является более плавный нагрев. Газовую сварку целесообразно применять для соединения сталей (толщиной от 0,2 до 5 мм), цветных металлов, легкоплавких сплавов, для подварки дефектов чугунного литья, для пайки и напла-

вочных работ. При сварке цветных металлов, например алюминиевых и медных сплавов, применяются флюсы. Для сварки меди и ее сплавов используют кислые флюсы (бура или бура с борной кислотой). При сварке алюминиевых сплавов применяют бескислородные флюсы на основе фтористых, хлористых солей лития, калия, натрия и кальция. В последнее время для сварки латуни используют газо-флюсовую сварку. В этом случае флюс представляет собой эфир борной (BOCH_3) или какой-либо другой кислоты. При помощи специальной аппаратуры такой флюс попадет в ацетиленовый канал сварочной горелки. Здесь он сгорает в пламени и в результате образуется борный ангидрид, связывающий окислы цинка. Таким образом получается слой шлака, препятствующий дальнейшему выгоранию цинка.

5. ОГНЕВАЯ РЕЗКА

Огневой резкой называется процесс сжигания металла в струе кислорода и удаление этой струей образующихся окислов. Сгорание железа в кислороде происходит по реакции:



Процесс резки (рис. 177) начинается с нагрева металла 1 в начальной точке реза до температуры воспламенения данного металла в кислороде. Нагрев осуществляется подогревающим пламенем 3, которое образуется при сгорании горючего газа в кислороде. Когда температура нагрева металла достигает требуемой величины, пускается струя режущего кислорода 2.

Режущий кислород попадает на нагретый металл и зажигает его. При горении металла выделяется теплота, которая вместе с подогревающим пламенем разогревает нижележащие слои, и горение распространяется на всю толщину металла. Образующиеся при сгорании металла окислы 5, будучи в расплавленном состоянии, увлекаются струей режущего кислорода и выдуваются из зоны реза 4. Если перемещать резак по заданной линии с надлежащей скоростью, то форма реза будет соответствовать заданной конфигурации.

Газовой резке подвергаются только те металлы и сплавы, которые удовлетворяют следующим условиям:

- 1) температура плавления металла должна быть выше его воспламенения в кислороде;
- 2) температура окислов металлов должна быть ниже температуры плавления металла и температуры, которая разбивается в процессе резки, в противном случае тугоплавкая пленка окислов будет препятствовать дальнейшему окислению металла;
- 3) количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла в кислородной струе, должно быть достаточным для поддержания непрерывного процесса резки;
- 4) теплопроводность металла не должна быть слишком высокой, в противном случае будет происходить интенсивный отвод теплоты и процесс резки будет прерываться;
- 5) окислы должны легко выдуваться кислородной струей.

Из рассмотренных условий следует, что лучше всего поддаются резке железо и малоуглеродистая сталь. При содержании углерода выше 0,7% процесс газовой резки затруднен, так как повышается температура плавления. Содержание легирующих примесей не должно превышать более 5%.

Чугуны, медные и алюминиевые сплавы, высокохромистые и хромоникелевые стали не поддаются нормальному процессу резки. Чугун имеет температуру воспламенения, равную температуре плавления, а высоколегированные стали и алюминиевые сплавы покрыты тугоплавкой пленкой окислов. Медные сплавы имеют высокую теплопроводность.

Существуют три основные виды резки: разделительная, поверхностная и резка кислородным копьём.

Разделительную резку, образующую сквозныерезы, применяют для раскроя листов, вырезки отверстий фланцев и фасонных заготовок.

Поверхностная резка — это грубая строжка или обточка металла. Ее применяют для удаления дефектов

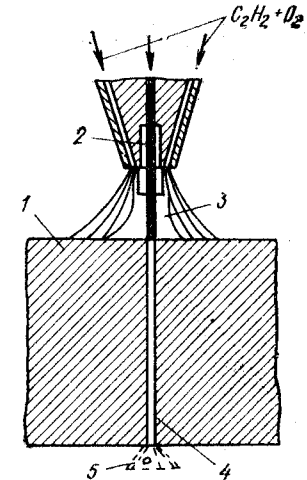


Рис. 177. Схема процесса резки

литья, вырезки поверхностных канавок и т. д. *Резки кислородным копьем* служит для прожигания глубоких отверстий в металле.

Резка может быть ручной и машинной. Для ручной резки применяют универсальный резак типа УР (рис. 178, а), имеющий сменные мундштуки. Конструкция

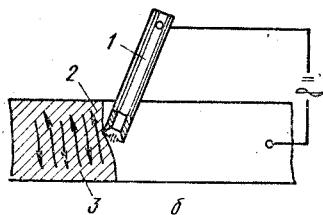
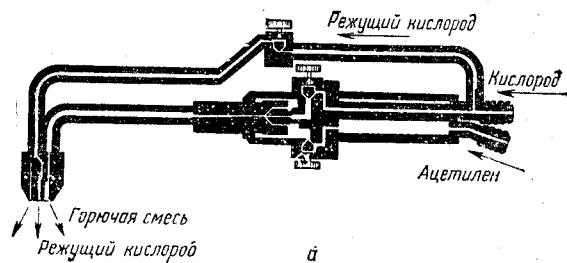


Рис 178. Схема газового резака типа УР (а) и схема электродуговой резки (б)

резака отличается от сварочной горелки тем, что наконечник образует прямой угол со стволом резака и имеется дополнительная трубка для подачи режущего кислорода. Мундштук резака имеет центральное отверстие для подачи режущего кислорода.

Машинную резку выполняют на автоматах и полуавтоматах, имеющих один или несколько резаков, позволяющих проводить резку по сложному контуру.

Газо-кислородная резка является самым распространенным видом обработки металлов газовым пламенем и находит широкое применение почти во всех областях металлургической и металлообрабатывающей промышленности. Ее применяют при раскрое листовой стали, при резке профильного металла, при вырезке косынок, кругов фланцев и других фасонных заготовок. Для метал-

лов, не поддающихся обычной газовой резке, например высокохромистых и хромоникелевых сталей, чугуна, меди, латуни и бронзы, используют способ кислородно-флюсовой резки.

Процесс *кислородно-флюсовой* резки осуществляется с введением в зону реакции порошкообразных флюсов, имеющих железную основу. При сгорании флюса в кислородной струе выделяется дополнительное количество теплоты, повышается температура в зоне реакции, разжижаются тугоплавкие окислы. В то же время частицы флюса, выходя из сопла резака с большой скоростью, механически удаляют с поверхности реза тугоплавкие окислы. При использовании смеси железного порошка с флюсующими добавками, кроме чисто термического действия порошка и механического удаления окислов, наблюдается и флюсование, т. е. перевод тугоплавких окислов в более легкоплавкие соединения.

Флюс подается в точку реза из специального бункера через инжектирующее устройство вместе с режущим кислородом через мундштук или по дополнительной трубке. Для кислородно-флюсовой резки применяют специальные установки типа УФР и УРХС. Кроме газовой и плазменной резки, в промышленности применяют способы воздушно-дуговой и кислородно-дуговой резки. Сущность этих процессов заключается в том, что металл нагревается до расплавления теплодугового разряда, а для его удаления или сжигания используют струю воздуха или кислорода. Дуговые процессы резки особенно эффективны при резке компактных сечений малой площади, например отрезке мелких отливок от общей литниковой системы и т. д.

Электрическая дуговая резка. Теплота электрической дуги расплавляет металл, который вытекает из полости реза, в этом сущность электрической дуговой резки. Дуга 2 горит между стальным или угольным электродом 1 и расплавленным металлом 3 (рис. 178, б). Резку ведут как на постоянном, так и на переменном токе на том оборудовании, которое используют для сварки. Сила тока 300—350 А. Хорошо оправдывают себя электроды с толстым слоем мелового покрытия.

Рассматриваемый способ применяется для грубой резки металла, в основном на строительных объектах. Качество резки низкое, низка также производительность.

Воздушно-дуговая резка. Этот способ является разновидностью электрической дуговой резки. Расплавленной электрической дугой металл непрерывно удаляется струей сжатого воздуха. Кроме резки, этим способом с успехом выполняется поверхностная обработка металла: вырезка канавок, разделка трещин, удаление дефектных участков в корне сварного шва, срез заклепок и пр. Как правило, используют угольные электроды. Сжатый воздух в резак поступает из воздушной магистрали под давлением 3—6 ат.

Для повышения производительности и улучшения качества реза вместо воздуха может быть применен кислород. Электроды можно использовать любые. Скорость резки углеродистых и низколегированных сталей толщиной до 30 мм составляет 0,4—0,5 м/мин. Электрическую дуговую резку и ее разновидности можно применять при работах под водой.

Глава V

СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ (СВАРКА БЕЗ ОПЛАВЛЕНИЯ)

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ ДАВЛЕНИЕМ

В процессе сварки давлением собранные детали сдавливают усилием P (рис. 179). При сварке давлением соединение заготовок достигается путем совместной пластической деформации соединяемых поверхностей. Пластическая деформация осуществляется за счет приложения внешнего усилия; при этом материал в зоне соединения, как правило, нагревают с целью повышения пластичности. В процессе деформации происходит смятие неровностей, разрушение окисных пленок, в результате чего обеспечивается плотный контакт между заготовками. К способам сварки давлением относятся: контактная, диффузионная, холодная и прессовая, трением, ультразвуком, взрывом и др.

Электромеханическая (контактная) сварка выполняется без применения флюсов, так как нагрев электрическим током протекает быстро и, следовательно, период воздействия кислорода воздуха на детали невелик. При

всех способах сварки давлением, кроме (холодной, взрывом), некоторая часть металла, примыкающая к месту соединения, нагревается до сравнительно высоких температур. Глубина распространения этого нагрева зависит от теплоемкости и теплопроводности металла деталей, а с другой стороны, от разновидности применяемого способа сварки. В участке основного металла, непосредственно примыкающего к месту соединения, могут происходить структурные изменения, характер которых зависит от химического состава металла, температуры, времени сварки, а также величины и особенностей механического воздействия при том или ином методе сварки.

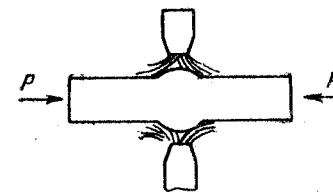


Рис. 179. Схема сварки давлением

Структурные изменения в зоне термического влияния, естественно, сопровождаются изменением механических свойств металла. Возможность получения надежных соединений при сварке не одинакова у различных металлов и сплавов. Установлено, что свариваемость стали понижается с увеличением содержания в ней углерода и других элементов. Существенным фактором является выбор метода сварки и температуры нагрева в момент сварки.

Величина усилия осадки при сварке также оказывает влияние на возможность получения доброкачественных соединений. С увеличением температуры нагрева необходимое усилие сжатия уменьшается.

2. КОНТАКТНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРКА

При электрической *контактной сварке*, или электрической сварке сопротивлением, нагрев осуществляется пропусканием электрического тока достаточной силы через место сварки, оказывающее омическое сопротивление прохождению электрического тока. Детали, нагретые электрическим током до расплавления или пластического состояния, механически сдавливают или осаживают, что обеспечивает взаимодействие атомов металлов; таким образом, контактная сварка относится к группе сварки давлением.

Контактная сварка является одним из высокопроизводительных способов сварки; она легко поддается механизации и автоматизации, вследствие чего ее широко применяют в машиностроении и строительстве.

По форме выполняемых соединений различают три основных вида контактной сварки: стыковую, точечную и шовную или роликовую.

3. СТЫКОВАЯ СВАРКА

Стыковую сварку разделяют на сварку *оплавлением* и сварку *сопротивлением*. При сварке *оплавлением* торцы заготовок доводятся до оплавления, а при сварке *со-*

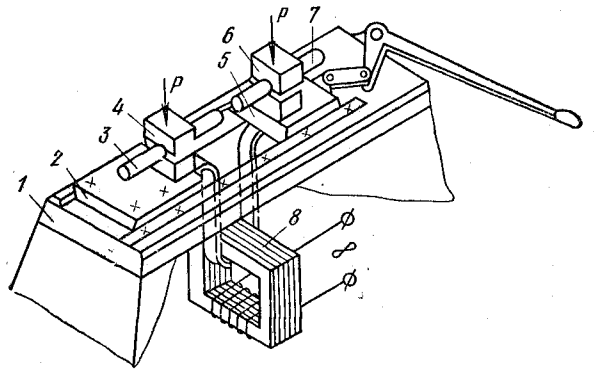


Рис. 180. Схема машины для стыковой сварки

противлением торцы заготовок разогреваются до пластического состояния и производится последующая осадка.

Свариваемые детали 3 и 7 (рис. 180) помещают между зажимами 4 и 6, подключенными к вторичной обмотке трансформатора 8. Одну из плит 2 неподвижно закрепляют на станции 1 и изолируют от нее, а другую плиту 5 можно перемещать по направляющим станины. Перемещение плиты вместе с закрепленной деталью осуществляется в машинах при помощи рычага, штурвала, пружины, а при сварке деталей значительных размеров — при помощи механических, гидравлических или пневматических устройств.

При сварке сопротивлением заготовки, зажатые в машине, сжимаются небольшим усилием, обеспечивающим контакт свариваемых поверхностей. Затем включается ток, металл разогревается до пластического состояния, производится осадка и сварка. Место сварки имеет усиление (высадку) металла. Перед сваркой заготовки зачищают и подгоняют одну к другой. Сварка сопротивлением применяется главным образом для заготовок малого сечения (диаметр до 20 мм), так как при сварке стержней больших сечений нагрев по сечению будет неравномерным. Сечения соединяемых заготовок должны быть одинаковыми по форме с мало развитым периметром (круг, квадрат, прямоугольник с малым отношением сторон). Заготовки более сложного сечения (лист, тонкостенная труба, двутавр, угольник), а также заготовки из разнородных металлов этим методом не сваривают.

Различают сварку с *непрерывным* и *прерывистым* оплавлением. При непрерывном оплавлении установленные в зажимах машины детали равномерно сближают при включенном напряжении во вторичной цепи. Соприкосновение происходит вначале по небольшим площадкам, через которые проходит ток высокой плотности. Расплавленный и кипящий металл выбрасывается наружу действием магнитного поля. После достижения равномерного оплавления всей поверхности стыка производят осадку. Этот процесс осуществляется на машинах с механизированным электродвигательным приводом осадки. Способ непрерывного оплавления удобен главным образом для массового производства однотипных заготовок. При прерывистом оплавлении зажатые заготовки сближают под током, приводят в кратковременное соприкосновение и вновь разводят на небольшое расстояние. Быстро повторяя следующие одно за другим замыкания и размыкания, производят оплавление всего сечения. Затем дается осадка, в процессе которой выключают ток. Под давлением часть расплавленного металла вместе с окислами выдавливается из зоны сварки с образованием грат.

Метод оплавления имеет ряд преимуществ перед сваркой сопротивлением, основные из которых следующие: поверхность стыка не требует особой подготовки; можно сваривать заготовки с сечением сложной формы и сильно развитым периметром, а также заготовки с

различными сечениями; свариваются разнородные металлы (быстрорежущая и углеродистая сталь, медь и алюминий и т. п.). Недостатком сварки оплавлением является то, что увеличивается расход материала. Это особенно ощущается при использовании дорогих металлов.

Сварка по методу советского изобретателя А. М. Игнатъева — применяется в инструментальном производстве. При этом методе электрический ток протекает параллельно плоскости соединения. На рис. 181 показана схема сварки, которая производится на прессе. Пластина 3 из инструментальной стали кладется на пластину 4 из малоуглеродистой стали, к которой ток подводится электродами 2, прижатыми усилиями P_2 . Ток протекает равномерно по всему сечению деталей и разогревает их. По окончании нагрева заготовки сжимаются усилием P_1 пуансона 1 и свариваются. Во избежание шунтирования тока под пуансоном и нижней пластиной укладываются изолирующие прокладки 5.

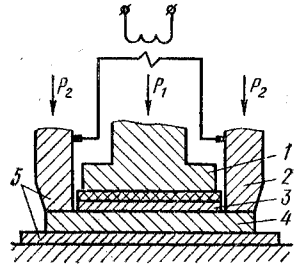


Рис. 181. Схема сварки по способу А. М. Игнатъева

Способ А. М. Игнатъева дает возможность приваривать тонкие пластины большой площади, изготавливать многослойные стальные ленты для режущих лезвий и пр.

4. ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА

При точечной сварке заготовки из тонкого листового металла (толщиной 0,2—8 мм) соединяют внахлестку.

Метод точечной сварки состоит в нагреве свариваемых деталей при прохождении тока от одного электрода через детали к другому. Происходит быстрый нагрев и расплавление металла в зоне соединения с образованием «ядра» сварочной точки, имеющей чечевицеобразную форму размером обычно 2—12 мм. Давление P , приложенное к электродам, уплотняет металл в сварочной точке и обеспечивает прочное соединение.

На рис. 182 показана схема точечной сварки. Свариваемые листы 4 зажимают между верхним 3 и нижним 5 электродами сварочной машины, к которым через электрододержатели 2 и 6 и хоботы 1 и 7 подведен ток от трансформатора 8. Нижний опорный хобот делается неподвижным, а верхний подвижным; при сварке верхний хобот создает давление на свариваемые листы. Соприкасающиеся с медным электродом поверхности свариваемых заготовок нагреваются медленнее их внутренних слоев. Нагрев продолжают до пластического состояния или частично до расплавления внутренних слоев детали, затем выключают ток и снижают давление. В результате образуется литая сварная точка.

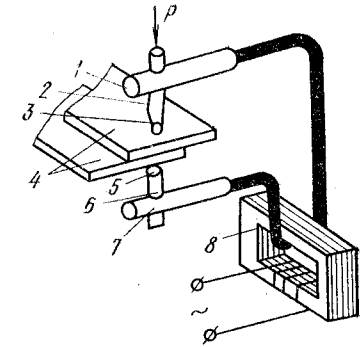


Рис. 182. Точечная сварки

Точечная сварка в зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым деталям может быть двусторонней и односторонней.

Односторонней точечной сваркой можно соединять заготовки одновременно двумя точками. По принципу односторонней точечной сварки работают многоточечные машины, которые могут иметь до 50 пар электродов.

Для получения соединения хорошего качества необходимо строго выдерживать заданные параметры режима: усилие сжатия от 2 до 10 кгс/мм², время протекания тока 0,01—1,5 с. Предварительно свариваемые поверхности очищают наждачным кругом, пескоструйной обработкой или травлением.

Точечная сварка может производиться и на жестких режимах. Мягкие режимы характеризуются большей продолжительностью времени сварки, плавным нагревом, уменьшенной мощностью. Эти режимы применяют для сварки углеродистых, конструкционных, низколегированных сталей и сталей, склонных к закалке. Значения основных параметров мягких режимов могут изменяться в следующих диапазонах: плотность тока — от

80 до 160 А/мм²; усилие на электродах — от 1,5 до 4 кгс/мм² а время протекания тока — от 0,5 до 2—3 с.

Жесткие режимы характеризуются повышенной производительностью в связи с уменьшением времени сварки, увеличением усилия сжатия и концентрированным нагревом. Эти режимы применяются: а) для сварки нержавеющей сталей, так как при сварке на мягких режимах возможно выпадение карбидов в околошовной зоне, приводящие к потере коррозионной стойкости; б) для сварки алюминия, меди и медных сплавов, так как они обладают высокой теплопроводностью и для них недопустим перегрев околошовной зоны; в) для сварки ультратонкого металла толщиной до 0,1 мм.

Пределы толщин свариваемых металлов составляют в среднем 0,5—5 мм. Точечная сварка широко используется для изготовления штампованных соединений, когда отдельные штампованные детали соединяются сварными точками. В этом случае упрощается технология изготовления сварных узлов и повышается производительность.

Рельефная и Т-образная сварка — способы контактной сварки, родственные точечной. При рельефной сварке детали зажимают между плоскими электродами (контактными плитами). Соединение происходит в точках, определяемых выступами, предварительно выштампованными в одной из деталей. При Т-образной сварке соединение происходит не по всей плоскости касания, а только в отдельных точках.

5. ШОВНАЯ СВАРКА

Признаком этого вида сварки является наличие хотя бы одного электрода в виде ролика, катящегося по шву. Роликовая сварка — разновидность точечной сварки, при которой точки ядра перекрывают одна другую и создают сплошной шов, между свариваемыми заготовками образуется прочно-плотное соединение. При шовной сварке (рис. 183) свариваемые детали 1 также соединяют внахлестку и помещают между двумя вращающимися медными роликами (электродами) 2, через которые поступает ток от трансформатора 3 для нагрева и расплавления металла. Этими же ролика-

ми производится осадка (сжатие) нагретого металла при движении вдоль шва. Толщина свариваемых листов должна быть в среднем 0,3—3 мм. Шовную сварку так же, как и точечную, можно выполнять при одностороннем и двустороннем расположении электродов (роликов).

Существует два цикла шовной сварки: с непрерывным и прерывным протеканием тока. Первый цикл применяется для сварки коротких швов из малоуглеродистых и низколегированных сталей толщиной до 1 мм, при сварке длинных швов ролики могут перегреться. Кроме того, при незначительных изменениях чистоты поверхности металла возникают прожоги или непровары. При непрерывном пропускании тока образуется большая зона термического влияния, что может привести к короблению деталей.

Второй цикл обеспечивает стабильность процесса и высокое качество сварного соединения при малой зоне термического влияния; он применяется для сварки длинных швов на заготовках из нержавеющей сталей, алюминиевых и медных сплавов.

Шовная сварка применяется в массовом производстве при изготовлении различных сосудов. Короткие швы сваривают от одного конца к другому, а длинные — от середины к концам. Роликовая сварка осуществляется на переменном токе силой 2000—5000 А. Диаметр роликов равен 40—350 мм; усилие сжатия свариваемых деталей роликами достигает 0,6 т; скорость сварки равна 0,5—3,5 м/мин.

Имеются разнообразные конструкции шовных машин, различающихся расположением роликов. В машинах для продольной сварки ролики вращаются вдоль консолей машины, а в машинах для поперечной сварки ролики вращаются в плоскости, перпендикулярной оси консолей.

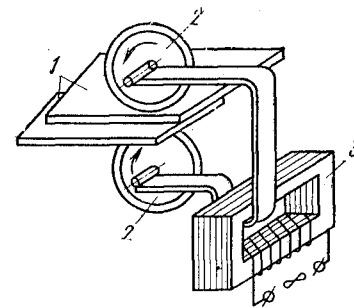


Рис. 183. Схема шовной сварки

6. МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ И КОНДЕНСАТОРНАЯ СВАРКА

По способу питания сварочного трансформатора различают: а) сварку переменным током, в подавляющем большинстве однофазным, частотой 50 Гц; б) сварку импульсом постоянного тока. В этом случае первичная обмотка сварочного трансформатора подключается к выпрямительной установке. Вследствие индуктивности трансформатора ток в первичной обмотке нарастает постепенно, в результате чего во вторичной обмотке индуцируется постепенно нарастающий импульс сварочного тока; в) сварку аккумулированной энергией.

Сварка аккумулированной энергией. Существуют четыре вида сварки аккумулированной энергией; электростатическая или конденсаторная, электромагнитная, инерционная и аккумуляторная (с накоплением энергии в конденсаторах, магнитном поле специального сварочного трансформатора, во вращающихся частях генератора или в аккумуляторной батарее). Накопленная энергия непосредственно или через сварочный трансформатор быстро отдается в сварочную цепь в виде импульсов больших мощностей. Практическое применение получила только конденсаторная сварка.

Конденсаторная сварка осуществляется кратковременными импульсами сварочного тока продолжительностью в тысячные доли секунды; за время импульса в зоне сварки выделяется тепло, которое сравнительно медленно распространяется в металле на глубину, необходимую для сварки.

При толщинах металла менее 1 мм мощность конденсаторной машины в 50—100 раз ниже мощности обычной контактной машины. С увеличением толщины металла разница в мощностях конденсаторной машины по сравнению с обычной контактной уменьшается, а сварка на обычной контактной машине становится более надежной. Поэтому конденсаторная сварка металла толщиной более 2 мм рациональна лишь в особых случаях.

Конденсаторные машины для малых толщин просты, дешевы, имеют незначительную мощность, иногда не превышают мощности обычной настольной лампы, и их можно включать в осветительную сеть без силовой подводки. Конденсаторная сварка для сварки деталей тол-

щиной менее 0,1 мм часто незаменима; для металла толщиной 1—2 мм она приемлема, но легко может быть заменена другими способами. Известны две основные разновидности конденсаторной сварки; с непосредственным разрядом конденсаторов на изделие и с разрядом конденсаторов на первичную обмотку сварочного трансформатора.

На установках с прямым разрядом конденсаторов можно сваривать встык проволоки и тонкие стержни разной толщины из разнородных металлов (вольфрам—

никель, медь — константан). Одним из примеров этого способа сварки служит **ударная конденсаторная сварка** (рис. 184, а), когда концы обкладок конденсатора подключаются непосредственно к свариваемым деталям 2 и 3, из которых одна крепится жестко, а другая может перемещаться в направляющих 5. Если освободить защелку 4, удерживающую деталь 2, то под действием пружины 1 деталь быстро перемещается по направлению к неподвижной детали 3 и ударяется в нее. Перед соударением деталей возникает мощный разряд за счет энергии, накопленной в конденсаторе. Этот разряд оплавляет торцы обеих деталей, которые после соударения свариваются между собой под действием усилия осадки.

Второй способ конденсаторной сварки — с **разрядом конденсатора** на первичную обмотку сварочного трансформатора (рис. 184, б) — предназначен для точечной и шовной сварки.

Преимуществом конденсаторной сварки является незначительная потребляемая мощность из сети и равномерная нагрузка сети. Потребляемая мощность составляет 0,1—0,2 кВА, продолжительность кратковременно-

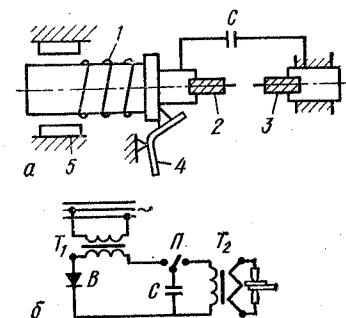


Рис. 184. Схема конденсаторной сварки:

T_1 — повышающий трансформатор; T_2 — сварочный трансформатор; C — конденсаторная батарея; B — выпрямитель; Π — переключатель

го импульса сварочного тока — тысячные доли секунд. Диапазон свариваемых толщин металла находится в пределах от 0,005 до 1 мм. Заготовки могут иметь разнообразную форму.

Конденсаторная сварка позволяет успешно соединять металлы малых толщин, мелкие детали и микродетали, плохо различимые невооруженным глазом и требующие при сборке применения оптических приборов. Конденсаторная сварка повышает производительность труда; стоимость конденсаторной машины окупается за несколько месяцев работы, этот прогрессивный способ сварки нашел применение в производстве электроизмерительных и авиационных приборов, часовых механизмов, фотоаппаратов и т. д.

7. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Контактная машина состоит из трех основных частей: источника тока, прерывателя тока и механизма давления.

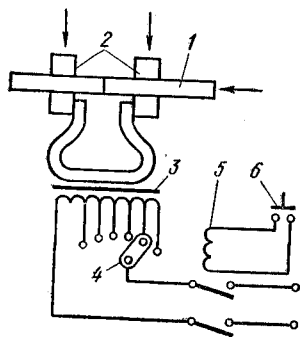


Рис. 185. Электрическая схема машины для контактной сварки:

1 — заготовка; 2 — электроды; 3 — сварочный трансформатор; 4 — секционный переключатель; 5 — контакт; 6 — пусковая кнопка

Источники тока. Контактные машины работают на переменном токе (от тысяч до ста тысяч ампер). Электрическая схема источников тока всех типов контактных машин состоит из трех элементов: трансформатора, прерывателя и переключателя ступеней мощности. Принципиальная электрическая схема машины для контактной сварки показана на рис. 185.

Первичная обмотка трансформатора подключается к сети напряжением

от 220 до 380 В; ее изготовляют секционированной для изменения числа рабочих витков при переключении ступеней мощности. Вторичная обмотка трансформатора состоит из одного или двух витков (вторичное напряже-

ние от 1 до 12 В). При изменении числа включенных витков первичной обмотки меняется коэффициент трансформации.

Следовательно, для того чтобы изменить вторичное напряжение, необходимо изменить число включенных витков первичной обмотки; соответственно будет меняться и величина тока.

Прерыватели тока. Для включения и выключения сварочного тока применяется несколько типов прерывателей: простые механические контакторы, электромагнитные (синхронные и асинхронные), электронные приборы (тиратронные и игнитронные).

Механические контакторы применяют главным образом на стыковых точечных машинах неавтоматического действия небольшой мощности. Электромагнитные контакторы применяют для стыковой, точечной и шовной сварки на машинах малой и средней мощности. Электронные прерыватели обеспечивают синхронное включение и выключение тока со строго определенной длительностью импульсов тока и пауз и применяются для всех типов контактных машин автоматического действия.

Механизмы давления могут быть рычажно-педальными, моторно-кулачковыми, с пневматическими или гидравлическими приводами давления. Механизм давления служит для сжатия заготовок.

Контактные машины в зависимости от выполняемого на них типа сварного соединения делятся на стыковые, шовные или роликовые и точечные. Стыковые и точечные машины выпускают малой, средней и большой мощности. Стыковые машины малой мощности (до 25 кВА) предназначаются главным образом для сварки сопротивлением черных и цветных металлов. Машины средней мощности (от 25 до 150 кВА) предназначаются для сварки сопротивлением и оплавлением преимущественно черных металлов. Наконец, стыковые машины большой мощности (от 150 до 500 кВА) рассчитаны на автоматическую сварку оплавлением с автоматическим подопремом.

Точечные машины малой мощности (от 0,1 до 25 кВА) предназначаются для сварки деталей малой толщины (от 0,01 до 2 мм) из черных и цветных металлов. Точечные машины средней мощности (от 50 до 250 кВА) с

пневматическим или моторно-кулачковым механизмом давления предназначаются для автоматической сварки однотипных деталей в массовом производстве. Точечные машины большой мощности (от 150 до 500 кВА) выпускаются с пневматическим механизмом давления и снабжаются электронными прерывателями тока. Эти машины могут быть использованы также и для рельефной сварки.

Шовные машины по конструктивному оформлению близки к машинам для точечной сварки и отличаются от них электродами, выполненными в виде роликов, приводимых во вращение с помощью специальных механизмов. Шовные машины выпускают мощностью от 25 до 200 кВА.

К оборудованию для конденсаторной сварки предъявляют требования стабильности электрических характеристик и точной дозировки тока, а также стабильности сил сжатия. Конденсаторные машины обычно состоят из батареи конденсаторов, выпрямительных устройств, сварочного (при трансформаторной конденсаторной сварке), переключателя тока, разных вспомогательных устройств и станка, на котором выполняют определенную механическую работу.

В зависимости от типа сварного соединения выпускают точечные, шовные и стыковые конденсаторные машины. По мощности они классифицируются на следующие группы — маломощные до 1 кВА, средней мощности до 5 кВА и мощные более 5 кВА.

8. ГАЗОПРЕССОВАЯ СВАРКА

Сущность процесса газопрессовой сварки состоит в том, что изделия, подлежащие соединению, нагревают пламенем многопламенных горелок и после достижения необходимой температуры сдавливают и сваривают. Различают два способа газопрессовой сварки: 1) в пластическом состоянии металла с так называемой защитой шва и 2) оплавлением.

Сущность газопрессовой сварки в *пластическом состоянии металла* заключается в том, что свариваемые детали (рис. 186, а) зажимают в захватах машины, выравнивают (центрируют), сжимают силой P и устанавливают многопламенную горелку (рис. 186, б). Зажжен-

ную горелку перемещают на стык (рис. 186, в), нагревают место соединения до заданной температуры.

Во избежание перегрева горелке придают колебательное движение. В результате приложения осевого усилия разогретые до пластического состояния детали деформируются и свариваются (рис. 186, г). Происходит их укорочение (осадка) с утолщением в месте стыка (рис. 186, д).

Для газопрессовой сварки применяют специальные установки, состоящие из станков, набора специальных горелок и источников питания (газогенераторы и баллоны с кислородом). Принципиальная схема поста газопрессовой сварки показана на рис. 187. Станки предназначаются для закрепления деталей, подлежащих сварке, и создания осевого усилия осадки в процессе сварки. Горелки бывают торцовыми и подковообразными (для сварки по методу оплавления) и многопламенными (для сварки в пластическом состоянии металла).

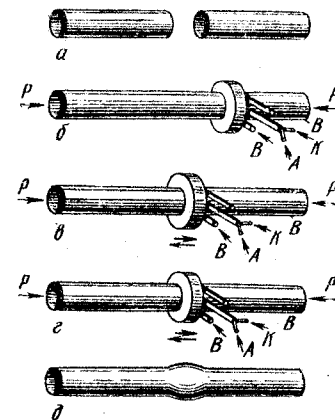


Рис. 186. Схема процесса газопрессовой сварки

Основными параметрами режима сварки являются: температура нагрева ($1200—1300^{\circ}\text{C}$), мощность пламени горелки ($1,5—2$ л/г на 1 мм² площади сечения) и давление $1,5—2,5$ кгс/мм². Величина осадки H равна для круглых сечений $(0,2—0,3)d$, время сварки t и амплитуда колебания горелки A определяются в зависимости от методов нагрева, профиля и диаметра свариваемого изделия. Обычно $A=d$.

Соединение рельсовых стыков (Р65) газопрессовой сваркой в пластическом состоянии металла на техническом пропане производят при следующем режиме: давление $2,0—2,5$ кгс/мм², величина осадки $H=20$ мм, давление кислорода 4 кгс/см², давление технического пропана $0,35$ кгс/см², время сварки рельсов Р65 состав-

ляет 8—10 мин. Перед сваркой торцы изделий очищают от грязи и обрабатывают для получения чистой и гладкой поверхности.

К преимуществам газопрессовой сварки относятся высокое качество сварных соединений, отсутствие необходимости в присадочном материале и мощных источниках электроэнергии, возможность использования природных

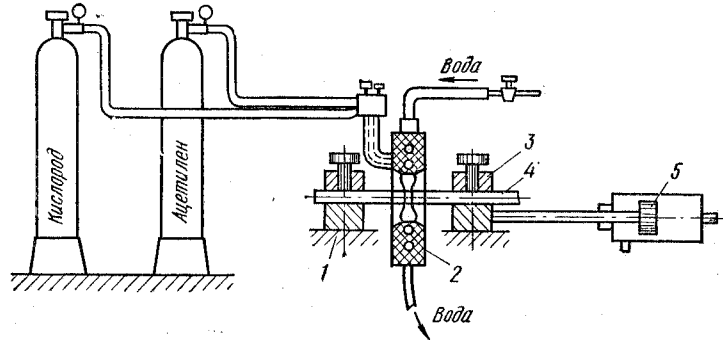


Рис. 187. Схема газопрессовой сварки:

1 — неподвижный захват станка; 2 — многопламенная горелка; 3 — подвижной зажим; 4 — свариваемое изделие; 5 — компрессор

газов и дешевизна оборудования. Однако у газопрессовой сварки есть и недостатки: неравномерность нагрева изделия по сечению при сварке в пластическом состоянии металла и более низкая производительность по сравнению с контактной сваркой.

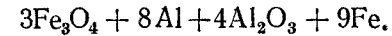
Газопрессовая сварка применяется для соединения ответственных деталей подвижного состава железных дорог (рельсы, буферные стержни, рессорные листы, паровозные дышла и др.), при изготовлении трубопроводов, арматуры железобетона, в производстве инструментов и др. Возможно использование горелок для термообработки (поверхностная закалка и нормализация и др.) изделий.

9. ТЕРМИТНАЯ СВАРКА

Термитами называют порошкообразные смеси металлов с окислами металлов, которые при сгорании выделяют значительное количество тепла, развивая при этом

высокую температуру. Важной областью применения термитов является сварка некоторых металлов и сплавов. Наиболее важным для целей сварки является термит из алюминиевого порошка и окислы (Fe_3O_4), содержащей не менее 25% O и 70% Fe. Содержание окислы в термите не должно превышать 80%.

Для воспламенения термита нужна высокая температура, поэтому зажигание его производят дугой, специальным запалом и термоспичками. Начавшееся горение протекает быстро, в течение нескольких секунд распространяясь на весь объем термитной смеси, и проходит по реакции:



Оборудование для термитной сварки состоит из плавильного тигля, на дне которого имеется отверстие, предназначенное для выпуска термитного металла, формы, служащей для подвода жидкого металла к месту сварки и формирования шва соответствующей конфигурации, подогревателей, предназначенных для подогрева концов деталей до температуры 500—900° С, прессов для сжатия деталей, когда для сварки необходима осадка.

Существуют три способа термитной сварки: способ промежуточного литья, сварка впритык и комбинированный способ сварки, которые могут осуществляться как с применением давления, так и без него (рис. 188).

Термитная сварка способом промежуточного литья (рис. 188, б) заключается в том, что соединяемые концы деталей, установленные с некоторым зазором, заформовывают огнеупорной массой и подогревают. После оконча-

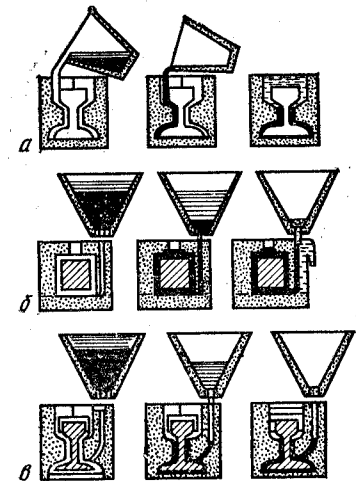


Рис. 188. Способы термитной сварки

чания происходящей в тигле термитной реакции и некоторой выдержки термитный металл выпускают из тигля и заливают в межстыковое пространство. Через несколько часов форму снимают и срубают литники и прибыли. Этим способом изготавливают сварно-кованые конструкции большого сечения.

Сварка впритык (рис. 188, а) применяется при выполнении соединений деталей небольшого сечения (рельсов, труб и т. п.). При этом способе подлежащие сварке торцы деталей обрабатывают, затем детали сдвигают вплотную и зажимают. На стык надевается форма и концы деталей подогреваются шлаком. Термитный металл и шлак сливают в форму, причем в первую очередь сливают шлак, который, затвердевая, образует вокруг детали шлаковую оболочку. Сливаемая в форму жидкая сталь вытесняет шлак вверх и нагревает стык до температуры белого каления, после чего детали сжимают. После окончания процесса удаляют шлаковую оболочку и металл с остывшего стыка.

Сварка комбинированным способом (рис. 188, в) совмещает сварку впритык и сварку промежуточным литьем и предназначена для сварки рельсовых стыков.

Глава VI

НОВЫЕ СПОСОБЫ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ БЕЗ ОПЛАВЛЕНИЯ

1. ДИФфуЗИОННАЯ СВАРКА В ВАКУУМЕ

Процесс диффузионной сварки в вакууме открыт, исследован и разработан для промышленного применения профессором Н. Ф. Казаковым. Его успешно применяют прежде всего для соединения материалов, которые обычными методами сварки соединить трудно или невозможно, например, сталь с чугуном, титаном, ниобием, вольфрамом, металлокерамикой, платину с титаном, керамику с коваром, титаном, медью, золото с бронзой, серебро с нержавеющей сталью, бронзы с различными металлами, металлы с кварцем, стеклом, графитом, кермета и т. п. Соединяют этим методом жаропрочные сплавы, тугоплавкие и активные металлы, специальные керамики, ме-

таллокерамические материалы и однородные и разнородные металлы, сплавы с неметаллами.

Диффузионная сварка основана на взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях контактирующих материалов. Металл находится в твердом состоянии, но температура нагрева близка к температуре рекристаллизации свариваемых металлов (или более легкоплавкого металла в соединении разнородных пар). Отсутствие воздуха в камере предотвращает образование окисной пленки на поверхности, которая могла бы препятствовать диффузии.

Надежный контакт между свариваемыми поверхностями обеспечивается механической обработкой высоким классом чистоты ($\nabla 6$ и выше) и последующей очисткой от окислов и загрязнений. Тончайшие адсорбированные газовые и масляные пленки не препятствуют образованию соединения, так как испаряются в вакууме или диффундируют в глубь материала.

Заготовки нагревают при помощи высокочастотных индукторов, вольфрамовых или молибденовых нагревателей сопротивления, расфокусированного электронного луча или несколькими лучами, генерируемыми отдельными электронно-оптическими системами.

Усилие сжатия обеспечивается при помощи механических, гидравлических или пневматических устройств. Можно использовать и разницу в коэффициентах термического расширения приспособления и свариваемых материалов.

Сжимающее давление, необходимое для увеличения площади действительного контакта поверхностей, составляет обычно $0,1-2$ кгс/мм² и более.

Сущность диффузионной сварки в вакууме с технологической стороны заключается в следующем: свариваемые заготовки помещают в камеру (рис. 189), в которой создают вакуум $10^{-3}-10^{-6}$ мм рт. ст., и сдавливают небольшим усилием. Затем заготовки нагревают и выдерживают некоторое время при заданной температуре. Время выдержки и температура нагрева определяются родом свариваемого материала, размерами и конфигурацией свариваемых заготовок. После медленного охлаждения давление снимается.

Установки для диффузионной сварки в вакууме состоят из камеры, вакуумной системы для создания тре-

буемого вакуума в камере, системы сжатия деталей и аппаратуры управления работой отдельных узлов установки. Наряду с установками для индивидуального производства, имеющих обычно ручное управление, созданы установки и для серийного и поточно-массового производства с полуавтоматическим или автоматическим программным управлением. Установки для массового производства изделий имеют несколько последовательно

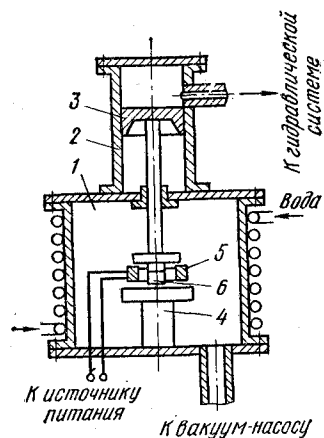


Рис. 189. Принципиальная схема установки для диффузионной сварки в вакууме:

1 — вакуумная камера; 2 — цилиндр гидропривода; 3 — поршень; 4 — стол для крепления деталей; 5 — индуктор; 6 — свариваемые детали

СДВУ-50, предназначенной для диффузионной сварки в вакууме различных деталей и узлов из однородных металлов и неметаллов.

Сварочная диффузионная вакуумная установка типа СДВУ-50 состоит из следующих основных узлов: вакуумной камеры 1, вакуумной системы, механизма сжатия 2, корпуса 3, приборов контроля и управления 4, электроаппаратуры, водораспределительной гребенки. Камера изготовлена из нержавеющей стали.

Она имеет загрузочный лок размерами 270×320 мм, который закрывается дверцей при помощи эксцентриковых зажимов.

установленных камер и вакуумные шлюзы. Детали подаются по конвейеру через шлюзовое устройство в камеры, в которых создается предварительный вакуум, а затем попадают в рабочую камеру. После сварки детали через камеры с уменьшающимся вакуумом и второе шлюзовое устройство поступают на разгрузочный стол.

В большинстве случаев диффузионная сварка производится в вакууме, однако возможно применение атмосферы и защитных газов. На рис. 190 показан общий вид сварочной диффузионной вакуумной установки типа

В дверце имеется окно для визуального наблюдения процесса сварки. В камере имеются патрубок для откачки воздуха, окно для подсвета, крепление промежуточного штока, вводы термопары и индуктора.

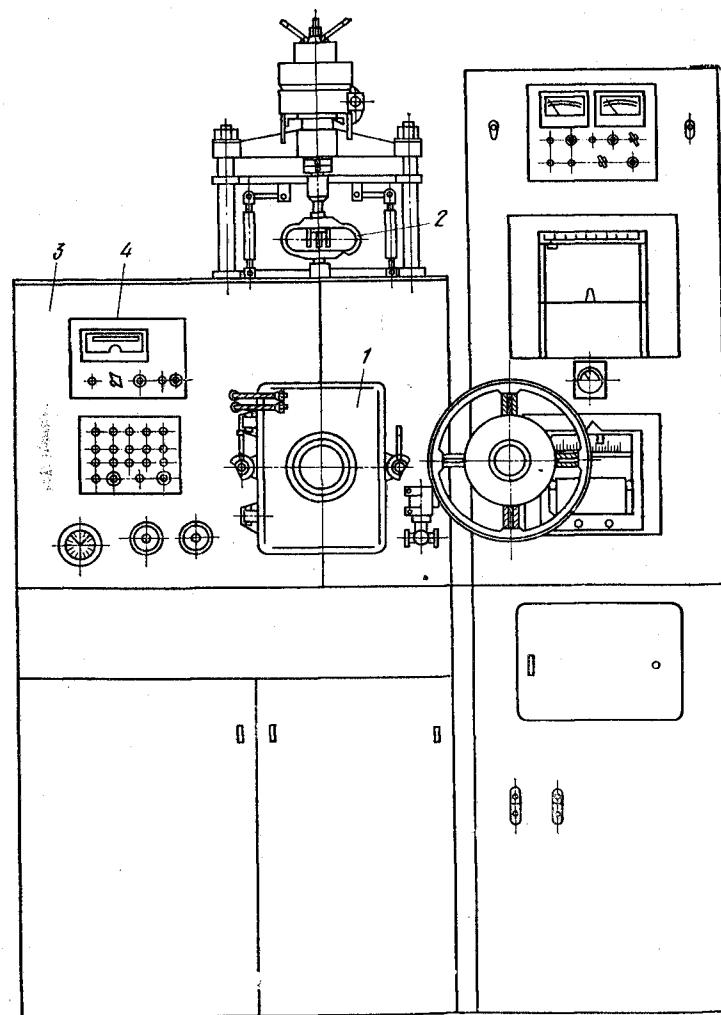


Рис. 190. Установка диффузионной сварки в вакууме типа СДВУ-50

Внутри корпуса расположена вакуумная система, которая создает в камере рабочий вакуум.

Вакуумная система состоит из форвакуумного и паромасляного насоса, вакуумного затвора и вентиля.

Механическая система передачи давления состоит из двух штанг, траверсы, двух направляющих и нажимного втула с гайкой. Эта система служит для создания усилий сжатия на свариваемые детали. Она снабжена механизмом для компенсации влияния атмосферного давления при разрежении в рабочей камере. Система приводится в действие как вручную, так и от электродвигателей через редуктор.

Измерение температуры сварки производится фотопирометром и термопарой совместно с потенциометром, который одновременно с измерением и записью производит автоматическое регулирование режима работы высокочастотного генератора. Диффузионная сварка выгодно отличается от других способов тем, что для образования соединения не требуются припой, флюсы, электроды, присадочная проволока и прочие вспомогательные материалы. Подавляющее большинство металлов, сплавов и материалов можно соединять в однородном и разнородных сочетаниях, при этом исходные физико-механические свойства соединяемых элементов практически не изменяются. Если свариваются однородные материалы (например, одинаковые металлы, сплавы, полупроводниковые элементы одинакового состава и т. п.), в соединении не удастся обнаружить границы раздела двух тел. При сварке разнородных металлов, особенно таких, элементы которых не обладают взаимной растворимостью, в зоне контакта может образоваться хрупкая интерметаллическая прослойка, сильно снижающая пластичность и прочность. В этом случае сварку производят с промежуточной прокладкой в виде фольги из третьего металла, образующего твердые растворы с элементами свариваемой пары. Такие же прокладки используют при сварке материалов, у которых сильно отличаются коэффициенты линейного расширения.

Другим важным преимуществом диффузионной сварки является возможность соединения деталей не только по плоским, но и по рельефным поверхностям — коническим, сферическим и другой сложной формы.

Диффузионную сварку применяют для сварки маг-

нитных сплавов. Методом диффузионной сварки изготовляют биметаллические, триметаллические и тетраметаллические детали и другие многослойные детали и изделия. Отсутствие графа, шлака и окалина позволяет исключить операцию окончательной обработки после сварки, что исключает потерю ценного металла. Можно соединять заготовки, резко отличающиеся по толщине, и получать соединения с высокой точностью размеров; масса конструкции не увеличивается, что неизбежно при сварке, пайке и склеивании; отсутствует коробление деталей; отпадает необходимость в термической обработке; при диффузионной сварке повышается качество изделий и увеличивается срок их службы.

Соединения, полученные диффузионной сваркой, по прочности, плотности, пластичности, термической и коррозионной стойкости полностью отвечают требованиям, предъявляемым к любым ответственным конструкциям.

Диффузионное соединение позволяет получить сварные конструкции законченных форм и размеров, например стеклометаллические гермовводы, стрелки подвесных путей, замедляющие системы, топливные элементы, электронные лампы, вольфрамовые сопла и т. д.

Для диффузионной сварки серийно изготавливаются установки следующих типов: СДВУ-12, СДВУ-15-2, СДВУ-50, СДВУ-СЖМ-2-327, СДВУ-40 и др.

2. ХОЛОДНАЯ СВАРКА

Соединение заготовок при холодной сварке осуществляется путем совместного пластического деформирования деталей при комнатной и даже отрицательных температурах. Образование неразъемного соединения происходит в результате возникновения металлических связей при сближении соприкасающихся поверхностей до расстояния, при котором возможно действие межатомных сил, причем в результате большого усилия сжатия пленка окислов разрывается и образуются чистые поверхности металлов.

Крупнозернистая отожженная структура более благоприятна для сварки, чем мелкозернистая. Свариваемые поверхности должны быть тщательно очищены от адсорбированных жировых пленок. Холодной сваркой

могут быть выполнены точечные, шовные и стыковые соединения.

На рис. 191, *а* представлен процесс холодной точечной сварки. Листы металла *1* с тщательно зачищенной поверхностью в месте сварки помещают между пуансонами *2*, имеющими выступы *3*. Пуансоны сжимают с некоторым усилием *P*, выступы *3* вдавливаются в металл на всю их высоту, пока опорные поверхности *4* пуансонов

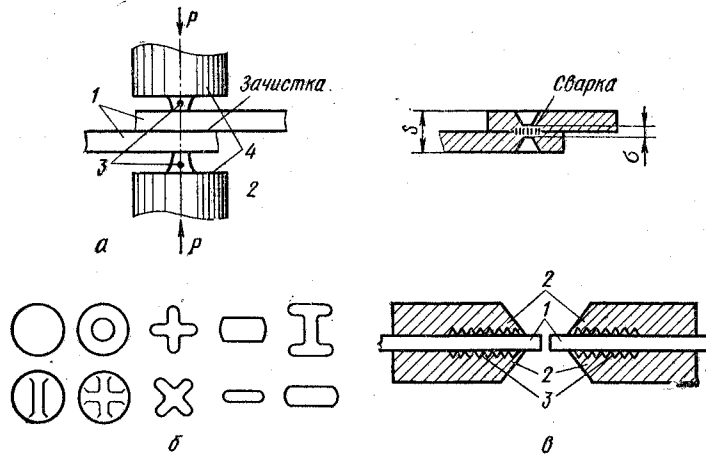


Рис. 191. Схема холодной сварки

не упрутся в наружную поверхность свариваемых заготовок. Форма сваренной точки (рис. 191, *б*) зависит от формы выступа на пуансоне.

При стыковой сварке (рис. 191, *в*) стержни *1* зажимают в специальных зажимах *2*. При осадке левый и правый зажимы сближают до соприкосновения и ножи *3* срезают лишний выдавленный металл.

При соединении металлов холодной сваркой происходит уменьшение толщины свариваемых деталей. Прочность соединения определяется остаточной толщиной металла в месте пластической деформации. При этом следует учитывать, что прочностные свойства металла в зоне сварки повышаются в результате наклепа в холодном состоянии.

Холодной сваркой выполняют соединения внахлестку, соединение проволок и шин встык, заварку отверстий

труб, сварку полых деталей по контуру. Внахлестку сваривают листы толщиной от 0,2 до 15 мм. Соединение выполняется отдельными точками или непрерывным швом. Давление выбирают в зависимости от состава и толщины свариваемого материала, в среднем оно составляет 15—100 кгс/мм².

При непрерывной сварке листов, полос, труб применяют специальные ролики. Непрерывное шовное соединение может быть получено путем сдавливания одновременно по всей длине или прокатыванием ролика. Этот способ применяется главным образом для соединения деталей из сплавов алюминия, дюралюминия, сплавов кадмия, свинца, меди, никеля, золота, серебра, олова, цинка и т. п. Металлы и сплавы можно сваривать в однородных и разнородных сочетаниях. К преимуществам холодной сварки относятся малый расход энергии, незначительное изменение свойств металла, высокая производительность, легкость автоматизации. В настоящее время холодная сварка нашла применение в электротехнической и приборостроительной промышленности.

Оборудованием для холодной сварки служат винтовые, гидравлические, рычажные, эксцентриковые прессы. В зависимости от типа соединения и размера свариваемых деталей промышленностью разрабатываются соответствующие сварочные установки и полуавтоматы.

3. СВАРКА ТРЕНИЕМ

При этом способе используется превращение механической энергии в тепловую. При вращении металлических заготовок *1* одна относительно другой одна установлена в неподвижном зажиме *2*, а вторая в подвижном зажиме *3* (рис. 192), их торцы разогреваются вследствие трения поверхностей соприкосновения. Разогрев производят до пластического состояния, а затем прикладывают осевое усилие *P*. Образование сварного соединения происходит в результате возникновения металлических связей между контактирующими поверхностями. Окисные пленки, имеющиеся на металлических поверхностях в точке соединения, разрушаются трением и удаляются в результате пластической деформации в радиальных направлениях.

Основными параметрами процесса сварки трением являются: скорость относительного перемещения свариваемых

ваемых поверхностей; величина удельного давления, прикладываемого к свариваемым поверхностям; величина пластической деформации, т. е. осадки. Необходимый для сварки нагрев при прочих равных условиях обусловлен скоростью вращения и величиной осевого усилия.

При сварке трением по сравнению с контактной стыковой сваркой снижаются затраты энергии и требуемые мощности. Так, при сварке стали трением требуется энергии в 5—10 раз меньше, чем при контактной сварке. Параметры режима сварки трением (угловая скорость, величина усилия сжатия и осадки, продолжительность нагрева) зависят от свойств свариваемого металла, площади сечения и конфигурации изделия.

Сваркой трением можно соединять однородные и разнородные металлы, причем соединение получается с достаточно высокими механическими свойствами.

В промышленности сварка трением применяется при изготовлении составного режущего инструмента, различных валов, штоков с поршнями, пуансонов и др.

Для сварки трением применяют специальное оборудование, рассчитанное на работу при достаточно больших скоростях вращения и больших осевых усилиях, обладающее достаточной прочностью для восприятия и погашения значительных радиальных вибраций, возникающих в процессе сварки, и удовлетворяющее ряд других требований.

4. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА

Для получения неразъемного соединения при сварке ультразвуком детали в точке требуемого соединения предварительно сжимают, а затем к зоне контакта с помощью специального инструмента подводят ультразвуковые колебания частотой 15—70 кГц. В результате в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются сдвиговые деформации, разрушающие поверхностные пленки. Тонкие поверхностные слои металла нагревают-

ся, металл в этих слоях размягчается и под действием сжимающего усилия пластически деформируется. При сближении поверхностей на расстояние действия межмолекулярных сил между ними возникает прочная связь.

Сравнительно небольшое тепловое воздействие на свариваемые материалы обеспечивают минимальные изменения их структуры, механических и других свойств.

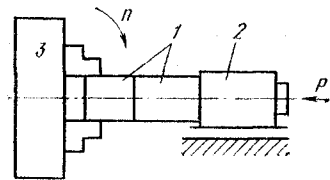


Рис. 192. Принципиальная схема сварки трением

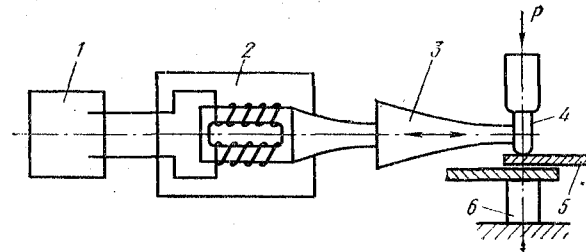


Рис. 193. Схема ультразвуковой сварки

Например, при сварке меди температура в зоне контакта не превышает 600°C , а при сварке алюминия $200\text{—}300^{\circ}\text{C}$. Это особенно важно при сварке активных металлов, а также металлов, которые в результате нагрева делаются хрупкими.

Принципиальная схема машины для точечной ультразвуковой сварки показана на рис. 193. Высокочастотный генератор 1 служит для преобразования энергии низкой частоты (50 Гц) в выходную энергию высокой частоты (до 15—17 кГц).

Питание от высокочастотного генератора с плавной настройкой частоты тока подводится к магнитоstrictionному преобразователю 2, являющемуся источником ультразвуковых колебаний и трансформатором амплитуд колебаний. Длина инструмента 3 обычно равна целому числу полуволн ультразвуковой волны. Колеблющийся в осевом направлении инструмент 3 имеет на конце рабочий наконечник 4. Свариваемые заготовки 5 помещаются между наконечником 4 и опорой 6. Возникающие под воздействием усилия P трения обуславливают образование соединения.

Машины для шовной ультразвуковой сварки в принципе аналогичны машинам для точечной сварки. Отли-

чие их заключается лишь в том, что рабочий инструмент и опора выполнены в форме роликов.

Одним из достоинств ультразвуковой сварки является возможность соединения заготовок различной толщины, например тонких листов и фольги с деталями большой толщины. Другое существенное преимущество сварки ультразвуком заключается в хорошей свариваемости этим методом металлов в разнородных сочетаниях, например алюминия с медью, цинком и оловом, меди со сталью, никеля с вольфрамом, тугоплавких металлов со сталью и металлов с керамическими материалами.

Ультразвуковым методом сваривают и пластмассы, однако в отличие от сварки металлов ультразвуковые колебания подводятся к деталям не тангенциально, а вертикально.

Прочность соединений металлов, выполненных ультразвуковой сваркой, составляет не менее 90% прочности наиболее прочного металла в соединении, а в некоторых случаях превосходят эту величину, что объясняется частичным наклепом в процессе сварки.

5. СВАРКА ВЗРЫВОМ

Большинство технологических процессов сварки взрывом основано на использовании направленного (кумулятивного) взрыва. При этом привариваемая или ударяющая деталь с большой скоростью бросается к ударяемой детали. Скорость движения ударяющей детали к моменту соударения достигает нескольких сотен метров в секунду, приближаясь к скорости пули огнестрельного оружия.

В зоне соударения металл соединяемых деталей течет подобно жидкости и сливается в одно целое, образуя монолитное соединение. Ударяющая деталь бросается зарядом взрывчатого вещества, масса которого составляет 10—20% от массы детали.

Ударяемая неподвижная деталь может иметь любую массу; при недостаточности массы ее укладывают на массивное основание, увеличение массы ударяемой детали улучшает использование энергии взрыва. Одно из наиболее известных применений сварки взрывом — изготовление биметаллических заготовок (рис. 194).

Основную ударяемую плиту 1 для увеличения массы

укладывают на опорный фундамент 3 ударяющий лист металла 2 располагают под углом $2-16^\circ$ к поверхности плиты 1. По верхней поверхности листа 2 равномерным слоем распределяют взрывчатку, в качестве которой в разных случаях используют аммонал, тол, гексоген и т. п. На конце листа 2 располагают детонатор 4. Взрыв распространяется в направлении стрелки и происходит как бы выстрел в плиту 1.

Сначала ударяется и приваривается к плите 1 нижний край листа 2, затем зона соударения и сварки перемещается вправо и лист 2 всей поверхностью приваривается к плите 1. Граница между соединенными деталями на микрошлифах имеет характерный вид волнистой линии. Таким способом могут быть соединены разнородные металлы, например к плите углеродистой стали может быть присоединен лист нержавеющей стали никеля, титана, меди, алюминия и т. д.

Применение сварки взрывом требует, конечно, строгого соблюдения правил техники безопасности и хранения взрывчатки. Сварка взрывом достаточно удобна для изготовления отдельных изделий сравнительно простой формы; регулирование процесса сварки возможно лишь приблизительно, так как результат зависит от плотности взрывчатки, равномерности ее размещения и прочих параметров, поддающихся лишь приблизительному регулированию.

Для серийного и массового производства небольших деталей иногда более удобным может оказаться способ магнитно-импульсной сварки, во многом подобной сварке взрывом. Например, для магнитно-импульсной сварки стыка труб на стык вместо кольцевой полосы взрывчатки надевают соленоид из нескольких витков, и через него подается мощный импульс электрического тока от батарей электрических конденсаторов; возникновения кратковременного магнитного потока высокой плотности приводит к действию, аналогичное взрыву, трубы прочно свариваются, причем они могут быть из разнородных металлов, например алюминия и меди. Магнитно-им-

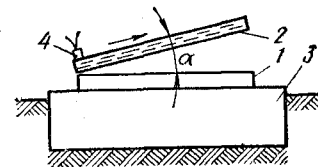


Рис. 194. Принципиальная схема сварки взрывом биметаллической заготовки

пульсная сварка допускает точное регулирование и удобна для массового изготовления однотипных изделий небольших размеров.

6. ИНДУКЦИОННАЯ СВАРКА

Этим способом преимущественно сваривают продольные швы труб в процессе их изготовления на непрерывных станах и наплавляют твердые сплавы на стальные основания (подложки), например резцов, металлов, буровых долот и др.

При этом способе металл нагревается пропусканием через него токов высокой частоты и сдавливается. Токи высокой частоты наиболее удобны для введения в металл индукционным бесконтактным способом; кроме того, они удобны для концентрации в зоне нагрева с использованием поверхностного эффекта и эффекта близости и большого индуктивного сопротивления шунтирующих путей. Поэтому практически всегда пользуются т. в. ч. от ламповых или машинных генераторов.

На рис. 195 показано схематически устройство трубо-сварочного стана с подводом сварочного тока контактами. Заготовка трубы перемещается поступательно ведущими роликами и обжимается обжимными роликами. Зазор заготовки до сварки регулируется таким образом, что кромки расположены под острым углом и сходятся в точке сварки. Ток от высокочастотного генератора подводится к заготовке через неподвижные контакты. Плотность тока достигает наибольшего значения в точке соприкосновения сходящихся кромок, здесь развивается максимальная температура и возникает сварка под действием обжимных роликов. Для уменьшения шунтирования тока в заготовку вводится ферритный сердечник, вследствие чего индуктивное сопротивление шунтирующих путей для токов высокой частоты становится очень большим и утечка тока между контактами, помимо места сварки, резко уменьшается.

На рис. 196 показана схема устройства с подводом сварочного тока к заготовке индукционным способом. Ток высокочастотного генератора подводится к индуктору, который индуктирует токи в заготовке трубы. Опыт показал, что в большинстве случаев рациональнее индукционный способ подвода тока к заготовке, упрощается

конструкция и эксплуатация трубо-сварочного стана, нет расхода на дорогие быстрознашивающиеся контакты, состояние поверхности заготовки не влияет на качество сварки. Станы подобного типа успешно применяют для изготовления труб диаметром 12—60 мм со скоростью до 50 м/мин. Питание током производится от ламповых генераторов мощностью 260 кВт при частоте 440 и

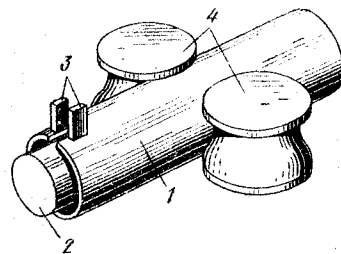


Рис. 195. Схема сварки труб с подводом тока контактами:
1 — труба; 2 — ферритный сердечник; 3 — контакты; 4 — обжимные ролики

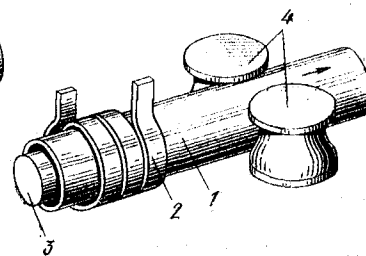


Рис. 196. Схема сварки труб с индукционным подводом тока:
1 — труба; 2 — индуктор; 3 — сердечник; 4 — обжимные ролики

880 кГц. Изготавливают и трубы больших диаметров 325 и 426 мм, с толщиной стенки 7—8 мм, со скоростью сварки до 30—40 м/мин. Скорость сварки трубы диаметром 50 мм при толщине стенки 1,65 мм составляет 45,5 м/мин. Для сварки труб из мало- и среднеуглеродистой стали применяется ток высокой частоты (4—100 тыс. Гц). Сварка выполняется при помощи различных типов индукторов: многовитковых, плоских, петлевых и пр.

Глава VII

НАПЛАВКА

Наплавка металла на поверхность детали дает возможность придать ей необходимые механические и физико-химические свойства и тем самым повысить надежность и долговечность работы и снизить себестоимость.

Наплавочные работы применяются для создания на деталях поверхностных слоев с требуемыми свойствами,

а также для восстановления исходных размеров изношенных деталей. Например, наплавку используют для изготовления деталей из конструкционных, сравнительно дешевых сталей, на рабочие поверхности которых наплавляют износостойкий, жаростойкий или иной специальный сплав.

При наплавочных работах, как правило, необходимо получать минимальное проплавление основного металла и минимальное перемешивание основного и наплавленного металла для того, чтобы сохранить механические свойства наплаваемого слоя.

В то же время наплавленный металл должен прочно соединяться с металлом основы и не должен содержать пор, шлаковых включений, раковин, трещин и других дефектов. Для наплавочных работ создано большое количество различных сплавов, которые можно разбить на следующие основные группы: 1) литые, или стеллиты; 2) порошковые, или зернистые, 3) керамические, или спеченные; 4) плавленные карбиды.

К *литым сплавам* относятся сормайт (2,5% С, 2,8% Si, 25% Cr, 3,5% Ni), ВК-3 (1,7% С, 28% Cr, 4% W, 58% Co), сплав, содержащий 3,8% С, 28% Cr, 30% Ni, 18% Со и др.

Литые сплавы обычно выпускают в виде стержней различного диаметра и их применяют главным образом для наплавки изнашивающихся рабочих поверхностей, например штампов, матриц и пуансонов, а также машин и механизмов, работающих на трение.

Из литых сплавов изготавливают специальные электроды для наплавочных работ.

Порошкообразные или зернистые сплавы выпускают в виде порошка или крупки с величиной зерна 1—3 мм. Зернистые сплавы представляют собой механическую смесь различных составляющих. К зернистым сплавам относятся сталинит (8% С; 13% Mn; 3% Si; 18% Cr и др.), вокар (9,5% С; 85% W и др.), ВИСХОМ-9 (6% С; 15% Mn; 5% Cr, остальное чугунная стружка). Эти сплавы применяют при наплавке зубьев экскаваторов, шеек камнедробилок, козырьков ковшей землечерпалок и других деталей машин. Зернистые сплавы используют в виде присадного порошка или как наполнителей трубчатого электрода.

Керамические сплавы выпускают в виде пластинок и применяют главным образом для оснащения режущего

инструмента. Основой этих сплавов являются карбиды вольфрама и титана. Пластинки керамических сплавов закрепляют на державках с помощью припайки.

Плавленные карбиды выпускают в виде кусков с острыми гранями. Они имеют очень высокую твердость и температуру плавления (около 3000°С) и их применяют для оснащения бурового инструмента. Куски сплава ввариваются в углубления на поверхности детали таким образом, чтобы режущая грань выступала над поверхностью. Пространство между кусочками сплава заполняется наплавкой другого твердого сплава, литого и зернообразного. В процессе работы инструмента промежуточный твердый сплав изнашивается быстрее и режущая грань плавленных карбидов все больше выступает над поверхностью и режет горную породу.

Наплавка может быть осуществлена различными способами. Чаще всего для наплавки применяют различные виды электродуговой сварки. *Ручная дуговая наплавка* штучными электродами. Этот способ является наиболее распространенным способом благодаря простоте и возможности наплавления любой формы детали. При этом способе используют электроды требуемого состава диаметром от 3 до 6 мм. Наплавку ведут короткой дугой на минимальном токе. Для повышения производительности можно применять наплавку пучком электродов и трехфазной дугой. Для наплавочных работ разработано около 700 электродов различных марок; кроме того могут применяться электроды общего назначения. К специальным наплавочным электродам относятся электроды типа ЭН-15ГЗ-25, ЭН-60Х2СМ-50, ЭН-70Х18НЗ-25, ЭН-У30Х28С4Н4-50 и т. д.

Наплавка под флюсом. Ее применяют как однодугую, так и многодугую, когда один наплавщик управляет одновременно несколькими аппаратами, каждый из которых наплавляет определенный участок изделия.

Может быть применена многоэлектродная наплавка, когда плавятся одновременно несколько электродных проволок, подключенных к одному полюсу источника тока и расположенных поперек оси наплавленного валика. Под флюсом создается одна общая сварочная ванна и электроды плавятся поочередно. Вместо проволоки можно использовать в качестве присадки крупнозернис-

тый порошок требуемого состава, а для поддержания дуги подавать добавочный электрод, который перемещается навстречу наплавочному аппарату.

Вибродуговая наплавка. Применяют главным образом для восстановления быстроизнашивающихся деталей станочного и металлургического оборудования. Наплавке подвергают детали диаметром 8—10 мм и более. Сущность процесса заключается в том, что на вращающуюся деталь наплавляется металл с помощью специальной электродной головки. В зоне наплавки и дуги подается эмульсия, содержащая ионизирующие элементы (кальцинированную соду, техническое мыло и кипяченую воду). Эмульсия служит для охлаждения деталей, частичной защиты наплавленного металла от воздуха. В настоящее время применяют вибродуговую наплавку под флюсом, главным образом для больших сечений, в этом случае обеспечивается меньшая скорость охлаждения металла шва. Вибрация электрода обеспечивает возбуждение дуги и повышает стабильность процесса.

Наплавка токами высокой частоты. При этом способе используют индукционный нагрев токами высокой частоты изделия с нанесенным предварительно присадочным металлом в виде смеси порошков, литого кольца или прессованного брикета.

Электрошлаковую наплавку металла применяют, например, для наплавки больших поверхностей различными износостойкими сплавами, а также сплавами с особыми свойствами. В качестве присадочного металла наряду с проволочными и пластинчатыми электродами могут применяться электроды сложной формы.

Дуговая наплавка неплавящимся электродом (угольным или вольфрамовым). Более совершенна наплавка вольфрамовым электродом в аргоне. При этом способе используют горелки с неплавящимся электродом и литые присадочные прутки, обычно из сплавов на основе никеля или кобальта. Можно получить очень малую глубину проплавления и наплавлять тонкие слои.

Наплавка плазменной дугой. Присадочный металл можно подавать в дугу в виде проволоки или порошка. Плазменная наплавка с вдуванием порошка может обеспечить нанесение тонкого плотного слоя (0,3 мм) как более тугоплавкого, так и более легкоплавкого, чем основной металл. Кроме перечисленных выше способов

наплавки, существует еще много разновидностей наплавки с использованием других источников теплоты: газовым пламенем, плавящим электродом в защитном газе, порошковой проволокой, лежащим пластинчатым электродом и т. д.

Глава VIII

ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

1. ПОНЯТИЕ О СВАРИВАЕМОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В современном машиностроении наряду с обычной малоуглеродистой сталью широко применяют металлы и сплавы, обладающие высокими механическими или специальными физическими свойствами, такими, как жаропрочность, коррозионная стойкость и т. д. Несмотря на высокие эксплуатационные свойства этих материалов, сварка их в большинстве случаев связана с определенными трудностями. К таким металлам и сплавам относятся углеродистые и легированные стали (конструкционные и теплоустойчивые), высоколегированные стали (нержавеющие и жаропрочные), чугун, медь, алюминий, магний, активные металлы и их сплавы.

Под свариваемостью понимают способность металлов и сплавов образовывать соединения с помощью того или иного метода сварки; при этом сварные соединения должны обладать по возможности теми же свойствами, что и свариваемые металлы, и не иметь дефектов в виде трещин, пор, неметаллических включений и т. п.

Наиболее часто встречается неоднородность свойств сварного шва, зоны термического влияния и основного металла, обусловленная различием в структуре, величине зерна и другими причинами. Так, например, при сварке углеродистых и легированных сталей вследствие значительных скоростей охлаждения, характерных для процесса сварки, происходит закалка металла в зоне термического влияния (рис. 197). Закаленная зона 2 имеет более высокую твердость и пониженную пластичность по сравнению с основным металлом 3 и сварным швом 1.

Следствием плохой свариваемости металлов являются трещины в сварных соединениях, которые разделяются на горячие и холодные. Трещины образуются в процессе сварки в результате действия сварочных напряжений в периоды времени, когда отдельные зоны сварного соединения находятся в разупрочненном и хрупком состояниях. При сварке почти всегда возникают остаточные сварочные напряжения (как правило, растягивающие в шве и сжимающие в основном металле). Процесс возникновения сварочных напряжений можно представить следующим образом (рис. 198). Вследствие неравномерного разогрева изделия при сварке свободное термическое расширение шва и околошовная зона ограничивается реакцией менее нагретых зон основного металла. Вместо удлинения отдельных слоев свариваемого металла по кривой $\alpha_T T$ происходит

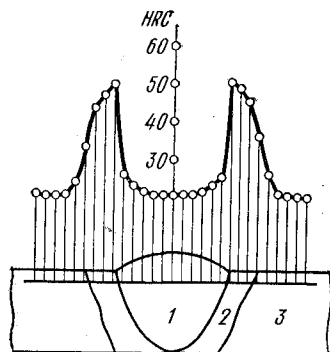


Рис. 197. Распределение твердости сварного соединения из стали 50ХФА

зон основного металла. Вместо удлинения отдельных слоев свариваемого металла по кривой $\alpha_T T$ происходит

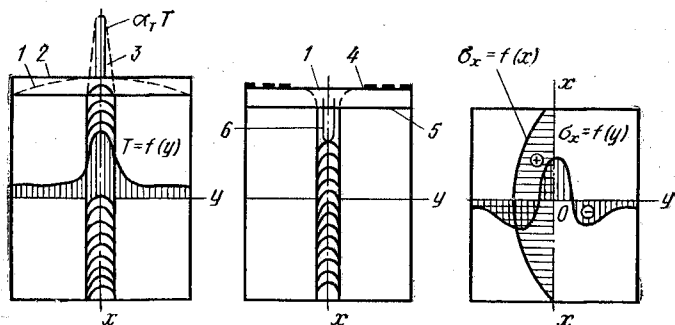


Рис. 198. Процесс возникновения сварочных напряжений при сварке пластины встык:

$T=f(y)$ — распределение температуры по оси Oy ; $\sigma_x=f(x)$ и $\sigma_y=f(y)$ — распределение остаточных напряжений по осям Ox и Oy соответственно

равномерное удлинение всей свариваемой пластины, в результате чего первоначальная грань пластины 1 в момент максимального разогрева занимает положение 2. В результате шов и прилегающая к нему зона металла при нагреве претерпевает местную пластическую дефор-

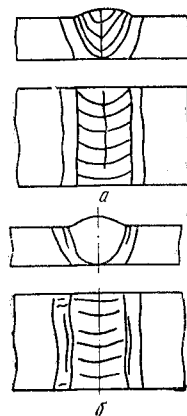


Рис. 199. Трещины в сварном соединении:

a — горячие в сварном шве; *b* — холодные в зоне термического влияния

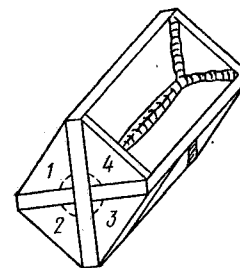


Рис. 200. Крестовая технологическая проба для определения склонности сталей к образованию трещин при сварке:

1—4 — порядок наложения сварных швов (3-й и 4-й швы соответствуют наиболее жестким условиям сварки)

мацию сжатия, пропорциональную заштрихованной площади 3. После охлаждения контур пластины занимает положение 5, а участки 4 сварного соединения, претерпевшие при нагреве пластическую деформацию, оказываются укороченными пропорционально заштрихованной площади 6. Поскольку они связаны с основным металлом, который пластически не деформировался и не изменил своих первоначальных размеров, то шов и околошовная зона после сварки претерпевают растяжение. Растягивающие напряжения (+) в шве уравниваются сжимающими напряжениями (—), в основном, в металле.

Горячие трещины образуются главным образом в сварных швах различных сплавов (рис. 199) в процессе их кристаллизации в некотором интервале температур ($T_{ликв} - T_{солид}$). Во время пребывания шва в темпера-

турном интервале кристаллизации он находится в твердо-жидком состоянии, т. е. состоит из твердых кристаллов, окруженных жидкими прослойками. В ряде случаев сварочные деформации и напряжения оказываются достаточными, чтобы вызвать разрушение по жидким межкристаллическим прослойкам, т. е. привести к образованию горячих трещин. Горячие трещины наблюдаются в высоколегированных сталях, алюминиевых и медных сплавах.

Качественная оценка сопротивляемости металла образованию горячих трещин при сварке может быть произведена путем сваривания жестких образцов, так называемых технологических проб (рис. 200). Материалы, получившие при сварке проб горячие трещины, считаются склонными к образованию трещин. Один из способов количественной оценки сопротивляемости металла образованию горячих трещин при сварке заключается в испытании сварных образцов на специальной испытательной машине (рис. 201). При испытании образцов кристаллизуемая сварочная ванна подвергается деформации растяжения. Скорость растяжения, вызывающая образование горячих трещин в образце, является критической и служит количественной оценкой сопротивляемости металла сварного шва образованию трещин.

Холодные трещины чаще всего возникают в зоне термического влияния после полного затвердевания сварного шва в период завершения охлаждения или последующего вылеживания сварной конструкции. Холодные трещины образуются в сталях перлитного и мартенситного классов, если в процессе сварки происходит частичная или полная закалка металла в зоне термического влияния. Холодные трещины возникают под действием остаточных сварочных напряжений, которые постоянно действуют в сварной конструкции. На снижение сопротивляемости сталей образованию холодных трещин оказывает влияние водород, попадающий из электродных покрытий и флюсов в металл шва.

Наиболее простой качественный способ определения сопротивляемости сталей образованию холодных трещин заключается в сварке технологических проб (рис. 202). Количественный метод оценки сопротивляемости сталей образованию холодных трещин при сварке состоит в механическом испытании сварных образцов непосредствен-

но после сварки постоянной длительно действующей нагрузкой. В специальных установках сварные образцы небольших размеров нагружают грузами (рис. 202). Под действием груза образцы выдерживают в течение 20 ч. Величина минимальных напряжений в образце, при которых возникают холодные трещины, является критической и служит для оценки сопротивляемости сталей образованию трещин.

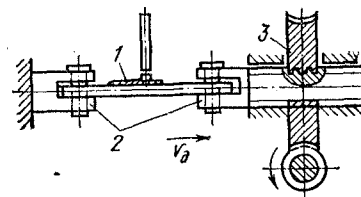


Рис. 201. Схема машины для определения сопротивляемости металла сварного шва образцов при сварке:

1 — разрезной образец, испытываемый в момент нахождения сварочной ванны в месте разреза; 2 — захваты машины; 3 — механический привод, обеспечивающий деформирование образцов с различными скоростями

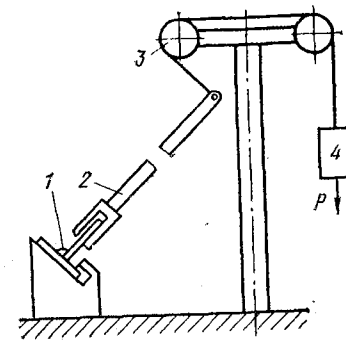


Рис. 202. Схема установки для определения сопротивляемости сталей образованию холодных трещин при сварке:

1 — тавровый сварной образец; 2 — рычаг с вилкой; 3 — система блоков; 4 — груз

В настоящее время почти все металлы и сплавы свариваются. Однако в ряде случаев для получения сварных соединений высокого качества необходимо применить новые способы — диффузионную, электроннолучевую, холодную сварку и др. или же необходимо применять сложные технологические приемы (подогрев, отжиг и т. п.). В зависимости от этого все материалы можно подразделить на хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо сваривающиеся.

К хорошо сваривающимся относится малоуглеродистые и низколегированные стали марок сталь 25, 15Н2М, 20Х и др. Удовлетворительно свариваются стали марок сталь 35, 30ХН3А, 20ХГСА и др. При сварке этих сталей необходимо строго соблюдать режим сварки, иногда их нужно подогревать до 100—150° С. К ограниченно сваривающимся относятся материалы, которые для получения качественных соединений требуют специальных свароч-

ных материалов, подогрева до 150—350° С, термообработки и т. п. К таким материалам относятся стали марок сталь 45, 30ХГС, 30ХНЗА и др. К плохо сваривающимся относятся материалы, которые, хотя и свариваются некоторыми способами с применением сложных технологических приемов, однако имеют пониженное качество сварных соединений. Плохо сваривающимися являются стали типа 50Г2, 40ХФА и др.

2. СВАРКА УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Углеродистые и низколегированные стали относятся к категории конструкционных сталей. Эти стали применяются в состоянии закалки и отпуска как материал повышенной прочности для изготовления деталей машин и конструкций. В нормализованном состоянии (закалка с охлаждением на воздухе) они имеют перлитную структуру и по этому признаку являются сталями перлитного класса.

Стали, одновременно легированные Сг, Мо и V, относятся к категории теплоустойчивых сталей (15ХМ, 15ХФ, 20Н2М и т. д.). По структуре в нормализованном состоянии теплоустойчивые стали могут быть перлитного и мартенситного классов.

Электродуговая сварка углеродистых и легированных сталей ведется электродными материалами, обеспечивающими необходимые механические свойства или теплоустойчивость наплавленного металла. Основная трудность при сварке углеродистых и легированных сталей заключается в закалке околошовной зоны и возможности образования холодных трещин.

Для предупреждения образования холодных трещин рекомендуется:

1) производить подогрев изделий до температур 100—300° С;

2) заменять однослойную сварку многослойной; при этом сварку ведут валиками небольшого сечения по остывшим (ниже 100—300° С) нижним слоям металла;

3) применять для сварки электроды с покрытием основного типа, перед сваркой необходимо производить прокалку электродов при 400—450° С в течение несколь-

ких часов, сварку ведут на постоянном токе обратной полярности;

4) производить отпуск изделий непосредственно после сварки до температуры 300° С и выше.

Контактная точечная сварка конструкционных сталей ведется на мягких режимах, т. е. с большим временем нагрева током и быстрым удалением заготовок из машины во избежание отвода тепла электродами. Контактная стыковая сварка этих сталей производится методом прерывистого оплавления, что обеспечивает подогрев деталей перед сваркой.

3. СВАРКА ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ

Высокохромистые стали, содержащие 12—28% Сг, обладают нержавеющей и жаропрочными свойствами. В зависимости от содержания хрома и углерода высокохромистые стали по структуре в нормализованном состоянии делятся на ферритные (15Х25, 15Х28), феррито-мартенситные (20Х13, Х14, 12Х17) и мартенситные (20Х13, 30Х13, 40Х13) стали.

Трудности при сварке ферритных сталей связаны с тем, что в процессе охлаждения в области высоких температур (около 1000° С) возможно выпадение карбидов хрома на границах зерен. Выпадение карбидов хрома является диффузионным процессом и имеет место в случае пребывания металла в зоне опасных температур выше определенного периода времени. Выпадение карбидов хрома приводит к обеднению пограничных участков зерен и снижает коррозионную стойкость стали. С целью предупреждения указанных выше явлений при сварке этих сталей необходимо:

1) производить сварку при малых погонных энергиях, т. е. применять пониженные значения тока и накладывать валики малого сечения с целью обеспечить большие скорости охлаждения при сварке;

2) вводить в сталь и наплавленный металл сильные карбидообразователи (Ti, Сг, Zr, V), способные связать углерод в собственные карбиды;

3) производить отжиг после сварки при 900° С для выравнивания содержания хрома в зернах и на границах.

При сварке феррито-мартенситных и мартенситных сталей основная трудность заключается в закалке шва

и околошовной зоны и образовании холодных трещин. Для предупреждения трещин эти стали сваривают с подогревом до 200—300° С.

4. СВАРКА АУСТЕНИТНЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ

Введение в хромистую сталь (18% Cr, 8% Ni) переводит ее из ферритного класса в аустенитный. По сравнению с ферритными сталями аустенитные обладают более высокой коррозионной стойкостью и жаропрочностью. При сварке нержавеющей стали типа 18-8 (18% Cr и 8% Ni) возможно выпадение карбидов хрома по границам зерен при продолжительном пребывании металла в зоне температур 500—800° С и возникновение склонности к межкристаллитной коррозии. Для получения коррозионностойких сварных соединений необходимо применять следующие меры:

1) вести сварку при малых погонных энергиях с теплоотводящими медными подкладками и водяным охлаждением;

2) вводить в сталь и шов карбидообразующие элементы и снижать содержание углерода;

3) производить закалку после сварки с 1600° С.

Повышение содержания хрома до 25% и никеля до 20% обеспечивает стойкость стали против коррозии в высокотемпературной газовой среде и концентрированных кислотах. При сварке аустенитных сталей этого типа металл шва склонен к образованию крупнокристаллической первичной структуры и возникновению горячих трещин. Для уменьшения образования горячих трещин необходимо:

1) применять специальную аустенитную сварочную проволоку (Св. Х25Н15Г7В3, Х25Н15Г7Ф), основные электродные покрытия и флюсы;

2) вести сварку на небольших токах и пониженном напряжении, чтобы получать широкие и выпуклые (по не вогнутые) сварные швы;

3) в отдельных случаях полезно применять подогрев до 300—400° С.

Аустенитные хромоникелевые стали хорошо свариваются контактной сваркой. Точечную и шовную сварку производят на пониженных плотностях тока, так как эти

стали обладают высоким удельным сопротивлением и при повышенном давлении, поскольку они отличаются значительной прочностью при высоких температурах.

Диффузионная сварка позволяет сваривать жаропрочные сплавы на никелевой основе, аустенитные хромоникелевые сплавы при температурах значительно ниже температуры плавления. В этом случае отсутствуют процесс первичной рекристаллизации металла и опасность возникновения горячих трещин.

Оптимальные режимы при диффузионной сварке в вакууме сплава ХН75МБТЮ: $t = 1150 \div 1175^\circ \text{C}$, $p = 2,5 \div 3,0 \text{ кгс/мм}^2$, $\tau = 6 \text{ мин}$, вакуум $1 \cdot 10^{-4} \text{ мм рт. ст.}$ Полученные соединения практически имеют механические свойства основного материала.

Отсутствие зоны термического влияния, а также простота технологии соединения, отсутствие трещин, коррозии, необходимости в последующей термической обработке, простота и дешевизна процесса делают его весьма перспективным для сварки соответствующих изделий из жаропрочных и жаростойких сталей и сплавов.

5. СВАРКА ЧУГУНА

Серый чугун относится к категории ограниченно свариваемых сплавов. Серый чугун сваривают с целью исправления дефектов литья и ремонта при наличии в деталях пор, раковин, трещин, отколов и т. п. Дуговая сварка холодного металла чугунами обмазанными электродами не обеспечивает хорошего качества сварных соединений. Металл шва и переходной зоны приобретает отбеленную структуру, а околошовная зона закаливается. Для устранения закалки и отбельной структуры необходим высокотемпературный длительный отжиг.

Горячая сварка чугуна производится с предварительным подогревом свариваемых деталей до температуры 400—600° С. Детали подогревают в нагревательных печах и в горнах с помощью древесного угля и воздушного дутья. Перед сваркой в деталях вырубают дефектные места и разделяют кромки, которые затем заформовывают с помощью графитных пластин и кварцевого песка, замешанного на жидком стекле.

Сварку ведут чугунами электродами диаметром 8—25 мм со стабилизирующей или специальной обмаз-

6. СВАРКА МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

кой. Ток выбирают из расчета 50—90 А на 1 мм диаметра электрода. Охлаждение сваренных деталей производят вместе с печью. Горячая сварка чугуна дает сварное соединение без твердых отбеленных и закаленных участков. Однако горячая сварка является дорогим и трудоемким процессом и применяется для ремонта уникальных деталей.

Холодная сварка чугуна производится стальными, медножелезными, медноникелевыми электродами и электродами из аустенитного чугуна. При сварке стальными электродами наплавка валиков производится малоуглеродистыми электродами со стабилизирующей или качественной обмазкой. Сварка ведется при малых погонных энергиях электродами малых диаметров.

Медножелезные электроды состоят из медного прутка с оплеткой из жести или пучка из медных и стальных стержней. Электроды имеют специальное или стабилизирующее покрытие. Медноникелевые электроды состоят из стержней из монельметалла (70% Ni, 28% Cu, остальные Fe) или мельхиора (80% Cu и 20% Ni) со стабилизирующей обмазкой. Применение медножелезных и медноникелевых электродов позволяет получить наплавку, у которой отбеливание в переходной зоне наблюдается только в отдельных участках. Наибольшее применение имеют медножелезные электроды как более дешевые и обеспечивающие достаточную прочность металла шва.

Хорошие результаты получены при сварки чугуна с чугуном и чугуна со сталью диффузионной сваркой. Диффузионное соединение не требует специальной технологии и осуществляется на стандартном оборудовании. Благодаря отсутствию графа, шлака, короблений и деформаций не требуется последующая механическая и термическая обработка, отпадает необходимость в электродах, флюсах, защитных газах и припоях.

Разработана технология сварки и используется в промышленности при изготовлении стрелок подвесных путей из серого чугуна СЧ 15—32 или СЧ 21—40 со сталями 45 или 50, биметаллических тормозных секторов из чугуна ЧНМХ и стали 10.

На свариваемость меди большое влияние оказывают содержащиеся в ней вредные примеси (O_2 , H_2 , Bi , Pb). Кислород, находящийся в меди в виде закиси Cu_2O , является причиной образования горячих трещин. Закись меди образует с медью легкоплавкую эвтектику ($Cu_2O - Cu$) с температурой плавления $1064^\circ C$, которая располагается по границам кристаллитов сварного шва. В результате действия сварочных деформаций и напряжений шов может разрушаться по жидким прослойкам с образованием горячих трещин. Наличие сетки эвтектики по границам зерен делает шов хрупким и при комнатных температурах. Для расплавленной меди характерно сильное растворение газов, которые при затвердевании сварочной ванны могут вызвать пористость в случае относительно быстрого охлаждения и задержки процесса их выделения в атмосферу.

Наиболее распространена газовая сварка меди ацетилено-кислородным пламенем повышенной мощности. Для листов толщиной свыше 5 мм применяют предварительный подогрев. В качестве присадочного материала используют медные прутки с небольшими добавками олова, цинка, иногда серебра для улучшения жидкотекучести, а также кремния и фосфора как раскислителей. Сварку ведут с флюсами, в состав которых входят бора $Na_2B_4O_7$, борная кислота $NaBO_3$ и борный ангидрид B_2O_3 . После сварки рекомендуется быстрое охлаждение деталей в воде и проковка или прокатка швов в холодном состоянии. Проковка устраняет хрупкость, связанную с крупнозернистой структурой и сеткой закиси меди по границам кристаллитов.

В настоящее время получили развитие ручная и автоматическая дуговая сварка меди угольным и металлическим электродами. При ручной сварке угольным электродом применяются присадочные прутки из оловянистой или кремнистой бронзы и флюсы, основной частью которых является бора. Сварка ведется длинной дугой на постоянном токе прямой полярности. Металлические электроды состоят из медного стержня, покрытого специальной обмазкой. Сварка металлическими электродами ведется короткой дугой на постоянном токе обратной полярности. Сварочный ток выбирают из расчета 50—60 А на 1 мм

диаметра электрода; при большой толщине свариваемых листов применяют подогрев.

Автоматическую сварку угольным электродом ведут под слоем плавящего флюса, применяемого для сварки малоуглеродистых и легированных сталей. Присадочный материал в виде полосы из латуни укладывают на свариваемый стык. Цинк, входящий в состав латуни, является раскислителем медного сварного шва. Автоматическую сварку металлическим электродом ведут медной проволокой под слоем плавящего флюса.

Все рассмотренные виды дуговой сварки меди не обеспечивают механических и особенно специальных физических свойств сварного шва, близких к свойствам основного металла (электропроводность и т. д.). Сварка металлическим электродом дает более высокое качество сварных соединений по сравнению со сваркой угольным электродом.

Применение специальных керамических флюсов для автоматической сварки меди обеспечивает наряду с хорошим формированием сварного шва требуемые физические свойства.

Успешно применяется в настоящее время метод сварки меди в атмосфере защитных газов (аргон, азот или их смеси). Сварка ведется вольфрамовым электродом на постоянном токе прямой полярности. В качестве присадочного материала применяют прутки из меди, содержащей кремний, олово, марганец. Рекомендуется подогрев до 550°C .

Латуни являются сплавами меди, содержащими до 38% Zn. Основной трудностью при сварке латуни является испарение цинка. В результате испарения цинка латунный шов теряет свои свойства и возможно возникновение пор. Пары цинка ядовиты и требуют защиты сварщиков специальными масками (респираторами).

Для сварки латуни применяют те же методы, что и для сварки меди. Однако при этом используют ряд приемов с целью сокращения испарения цинка. Газовую сварку латуни производят с применением газового флюса. При этом способом в пламя горелки вместе с ацетиленом подают пары боросодержащих жидкостей. Образующийся на поверхности сварочной ванны борный ангидрид связывает окислы цинка и образует сплошной слой шлака. Шлак препятствует выходу паров цинка из

сварочной ванны. Возможна также газовая сварка латуни окислительным пламенем, что приводит к появлению тугоплавкой пленки окиси цинка на поверхности сварочной ванны, препятствующей испарению цинка. Сварка ведется таким образом, чтобы не разрушить эту пленку. Во всех случаях ядро пламени удерживается на удалении от сварочной ванны и направляется на присадочный пруток. Сварка ведется с большой скоростью.

При сварке угольной дугой в качестве присадочного материала применяют кремнистые и марганцовистые бронзы или латунь с повышенным содержанием цинка. Дуга зажигается и поддерживается не на основном металле, а на конце присадочного прутка. Сварка металлическими электродами со специальными покрытиями ведется очень короткой дугой без колебаний конца электрода. Почти все методы сварки латуни не обеспечивают необходимого качества сварных швов. Исключения составляют газоэлектрическая и автоматическая сварка под керамическим флюсом.

Латунь можно успешно сваривать с помощью контактной сварки, поскольку электропроводность и теплопроводность латуни приблизительно такие же, как и у малоуглеродистой стали.

Большинство бронз является литейными материалами и сварка их применяется только с целью заварки дефектов или ремонта. Наиболее широко применяется дуговая сварка металлическим электродом. Electroды для сварки бронз представляют собой стержень, близкий по составу к основному металлу, с нанесенным на него специальным покрытием. Сварку оловянных бронз рекомендуется вести быстро, чтобы не вызвать перегрев основного металла, так как при перегреве возможно выплавление легкоплавкой составляющей.

Применение диффузионной сварки для соединения меди М-1 показало, что при $t=850^{\circ}\text{C}$, $p=0,5$ кгс/мм², $t=5$ -мин и вакууме $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. получено высокопрочное соединение меди. При испытании на разрыв разрушение происходит по основному металлу. Сварное соединение не требует механической обработки.

Металлографические исследования показали, что на получение качественного соединения большое влияние оказывает рекристаллизация — образование общих зерен в зоне контакта.

7. СВАРКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Сварка алюминия затруднена вследствие наличия на поверхности прочной и тугоплавкой пленки окисла Al_2O_3 , плавящейся при $2050^\circ C$. Пленка окиси покрывает также капли расплавленного металла и препятствует сплавлению их между собой и основным металлом. Только применение активных флюсов позволяет растворить этот окисел и обеспечить условия для нормального формирования сварного шва. Все флюсы и обмазки для сварки алюминия и его сплавов состоят из смеси хлористых и фтористых солей щелочноземельных металлов ($NaCl$, KCl , LiF и т. п.).

Алюминий можно сваривать различными способами дуговой и газовой сварки. При ручной дуговой сварке металлическим электродом применяют прутки того же состава, что и свариваемый металл, с обмазкой из смеси хлористых и фтористых солей. При низкой температуре плавления ($657^\circ C$) алюминий имеет высокую теплопроводность и большую теплоту плавления и для его сварки необходимо применение электрической дуги относительно большой мощности. Сварка ведется на постоянном токе обратной полярности.

Автоматическая сварка металлическим электродом производится полуоткрытой дугой по слою флюса. Для формирования корня шва применяют медные и железные прокладки. Необходимо иметь в виду, что при температурах 400 — $500^\circ C$ алюминий имеет низкую прочность и нагретое сварное соединение может разрушиться под действием собственной массы. В таких случаях наличие прокладок является полезным.

Наиболее широко применяется сварка алюминия и его сплавов в защитных газах. Листы толщиной $0,5$ — 10 мм сваривают неплавящимся вольфрамовым электродом с присадочным материалом, листы большой толщины — плавящимся металлическим электродом. Толстые листы и литые рекомендуются подогревать до $400^\circ C$. Способы сварки в защитных газах дают более высокое качество сварных швов по сравнению с другими способами дуговой сварки.

Сварка сплавов алюминия с магнием и цинком (AMg и AMc) не вызывает затруднений и производится теми же способами, что и сварка алюминия. Исключе-

ние составляют дюралевые сплавы, представляющие собой сплавы алюминия и меди. Эти сплавы термически упрочняются закалкой и последующим старением. В результате старения значительно повышается прочность и твердость сплавов. Нагрев свыше $500^\circ C$ приводит к оплавлению и окислению границ зерен, вследствие чего происходит резкое снижение механических свойств. Свойства перегретого дюралевого сплава не могут быть восстановлены никакой термической обработкой. Таким образом, сварка дюралей связана с разупрочнением зоны термического влияния на 40 — 50% . При сварке дуралюмина в атмосфере защитного газа также происходит снижение прочности, однако термообработкой можно восстановить прочность до 80 — 90% от прочности основного металла.

Алюминий и некоторые его сплавы удовлетворительно сваривают контактной сваркой. Для точечной контактной сварки алюминия, обладающего высокими электропроводностью и теплопроводностью, необходима большая мощность тока при очень коротком времени его протекания. Стыковая сварка ведется методом оплавления при повышенной плотности сварочного тока.

Хорошо сваривается алюминий диффузионной сваркой при оптимальном режиме: $t=500^\circ C$, $p=1$ кгс/мм², $\tau=10$ мин, вакуум $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.

Металлографические исследования показали монокристаллическое соединение, граница раздела в зоне не обнаруживается. В связи с тем что коагуляция интерметаллидов происходит при температуре 570 — $650^\circ C$, а структура пережога наблюдается при 600 — $650^\circ C$, температура сварки $500^\circ C$ не вызвала снижения механических свойств. В зоне сварки вкрапления интерметаллидов отсутствуют, это способствует повышению пластичности зоны соединения алюминия.

8. СВАРКА АКТИВНЫХ МЕТАЛЛОВ

К активным принадлежат такие металлы, как Ti , Zr , W , V , Nb , Mo и др. При нагреве активные металлы интенсивно поглощают газы — кислород, водород и азот. При этом даже незначительное содержание газов, например кислорода, приводит к резкому снижению пластических свойств этих металлов. Для получения каче-

ственных сварных соединений необходимо создавать совершенную защиту места сварки от воздействия воздуха.

Сварка титана производится в атмосфере защитных газов с дополнительной газовой защитой корня и еще не остывшего участка шва до температуры 400° С. Титановые сплавы склонны к образованию холодных трещин при сварке. Сильное влияние на образование трещин оказывают газы — водород и кислород. Допустимое содержание этих газов составляет: водорода 0,01%, кислорода 0,15%. Перед сваркой проволоку и металл подвергают дегазации.

Цирконий и ниобий являются тугоплавкими металлами, обладающими высокой коррозионной стойкостью. Они свариваются в атмосфере аргона высокой чистоты с защитой корня шва или в камере с контролируемой защитной атмосферой.

Молибден — тугоплавкий и жаропрочный металл. При загрязнении кислородом свыше 0,001% пластические свойства молибдена резко снижаются. Сварка молибдена производится электронным лучом в камере с вакуумом 10⁻⁴—10⁻⁶ мм рт. ст.

Хорошо свариваются активные металлы диффузионной сваркой в вакууме. Сварка производилась при разрежении 10⁻³—10⁻⁵ мм рт. ст. Оптимальные режимы диффузионной сварки тугоплавких металлов указаны в табл. 8.

Таблица 8

РЕЖИМЫ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ

Металл	Температура, °С	Давление, кгс/мм ²	Время, мин
Молибден	1900	1,5	15
Вольфрам	2000	2,3	20
Тантал	1650	1,2	20
Вольфрам — сталь	1200	0,3	30
Вольфрам — молибден	1900	2,0	30
Вольфрам — рений — молибден	1900	2,0	15
Титан ВТ5-1	1000	0,5	10

Результаты металлографических исследований показали, что в зоне контакта изменения структуры и собирательной рекристаллизации не наблюдается, непровары отсутствуют.

9. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Качество сварных соединений и конструкций проверяют разрушающими и неразрушающими методами контроля.

К разрушающим методам относятся: механические испытания, технологические пробы, металлографические исследования, химический анализ, коррозионные испытания, испытания на свариваемость. Прочность и пластичность сварных соединений проверяют при помощи механических испытаний специально изготовленных образцов. По ГОСТу предусмотрены следующие виды механических испытаний: испытание металла шва на растяжение на образцах Гагарина (рис. 203, а); испытание сварного соединения на растяжение (рис. 203, б); испытание металла шва и зоны термического влияния на ударный изгиб (рис. 203, в); испытание сварного соединения на изгиб (рис. 203, г); определение твердости.

Металлографические исследования проводят на шлифах толщиной 10—20 мм, вырезанных из сварного соединения. В зависимости от целей исследования изготавливают макроили микрошлифы. Макро-

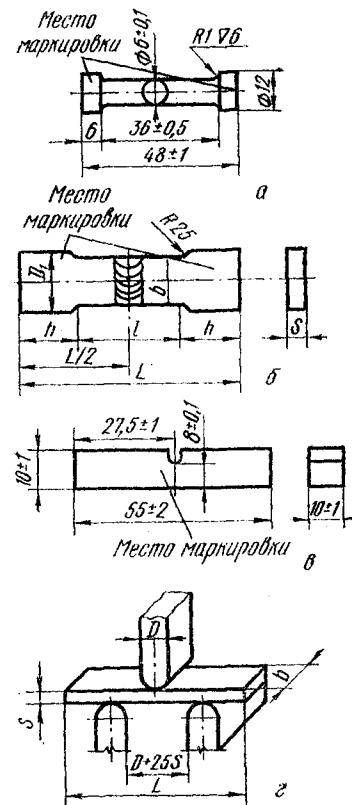


Рис. 203. Типы образцов для испытания:

а — на растяжение металла шва; б — то же, сварного соединения; в — на ударную вязкость; г — на статический изгиб

анализ сварных соединений производят с целью установления глубины и формы сварочной ванны, направлении и величии столбчатых кристаллитов, размера зоны влияния; характера и размера дефектов (непровары, трещины, поры, шлаковые включения и др.). Микроанализ сварных соединений дает возможность определять размер зерна в различных участках зоны влияния и характер структурных составляющих (перлит, цементит, мартенсит и др.). Коррозионными испытаниями сварных соединений можно оценить стойкость соединений против общей и межкристаллитной коррозии.

Химическим анализом электродного и основного металла определяют содержание тех или иных элементов в металле. *Визуальный* (внешний осмотр) является обязательным при контроле качества сварки любыми методами. Контроль прочности и плотности готового изделия осуществляют следующими испытаниями.

Гидравлическим (чаще водой), определяющим прочность и плотность сосудов (котлов, баллонов для газов и жидкостей), трубопроводов, конструкций резервуаров для хранения нефтепродуктов и т. п.; сосуды и трубопроводы, работающие с избыточным давлением, испытывают при давлении, превышающем рабочее в 1,5—2 раза; этим испытанием при давлении 1,4 кгс/см² можно обнаружить неплотность диаметром до 10⁻³ см.

Пневматическим. При этом виде испытания в сварное соединение нагнетается сжатый воздух, создавая давление, превышающее атмосферное на 0,1—0,2 кгс/см². Сварное соединение смачивают мыльным раствором или опускают в воду. Неплотности определяют по образующимся мыльным пузырям или пузырькам воздуха.

Испытанию керосином подвергают изделия, работающие без избыточного давления. При этом испытании шов с одной стороны смазывают мелом, а с другой — керосином. Если в соединении имеются неплотности, то на окрашенной мелом поверхности появляются темные или желтоватые жирные пятна керосина. С помощью керосина можно обнаружить неплотности диаметром до 18·10⁻⁵ см.

Методы магнитной дефектоскопии сварных соединений основаны на намагничивании изделий и образовании полей рассеяния в сварных швах, имеющих дефекты. Существуют два метода магнитной дефектоскопии: маг-

нитного порошка и индукционный. Метод *магнитного порошка* заключается в том, что если в сварном соединении имеется дефект, то магнитные силовые линии, стремясь обойти его, выходят на поверхность шва, и дефект обнаруживается по скоплению магнитного порошка. Этим методом выявляют дефекты, залегающие на глубине до 5 мм, при их ширине более 0,003 мм. *Индукционный метод* позволяет выявлять дефекты, залегающие на глубине до 15 мм. Для этого метода применяется специальный дефектоскоп системы К. К. Хренова

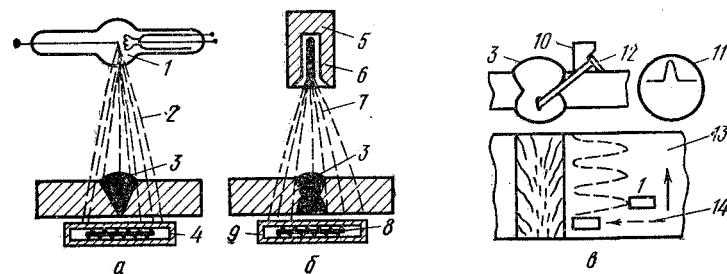


Рис. 204. Методы контроля сварных швов:

1 — катод; 2 — рентгеновские лучи; 3 — шов; 4 — кассета; 5 — ампула с радиоактивным веществом; 6 — свинцовый кожух; 7 — гамма-лучи; 8 — пленка; 9 — кассета; 10 — шуп с пьезокристаллом; 11 — экран осциллографа с импульсом; 12 — провод от шупа к дефектоскопу; 13 — направление продольного перемещения шупа; 14 — направление перемещения шупа при контроле

и С. Т. Назарова. Индукционным методом контролируют стыковые сварные соединения толщиной до 30 мм.

Магнитографический метод контроля основан на принципе использования магнитного рассеяния, возникающего во время намагничивания контролируемого изделия в местах расположения дефектов. Запись дефектов (продольные трещины, непровары, поры, шлаковые включения) производится на специальную ферромагнитную ленту. Этим методом контролируют сварные изделия (трубопроводы) толщиной 4—15 мм, с глубиной залегания дефекта 10% и более от толщины шва.

Рентгено- и гамма-дефектоскопия сварных соединений основана на различном поглощении проникающего излучения участками шва с дефектами и без них. Дефектные места (трещины, поры, непровары, шлаковые

и газовые включения) оказывают прохождению рентгено- и гамма-лучам меньшее сопротивление, чем участки металла без дефектов (рис. 204).

Применяемые в промышленности рентгеновские аппараты позволяют просвечивать изделия различной толщины: для стали 25—200, для алюминия 25—300, для меди 25, для свинца 4 мм. Аппараты — бетатроны служат для просвечивания изделий из стали толщиной 50—500 мм (швы выполнены электрошлаковой сваркой).

В связи с достижениями физики в области атомной энергии в настоящее время широко используют радиоактивные изотопы (кобальт, цезий, иридий, тулий и др.) для гамма-дефектоскопии. Этот метод благодаря портативности аппаратуры используется в любой обстановке (в цехах, полевых условиях, на монтаже), при строительстве газо- и нефтепроводов, мостов, на судостроительных заводах.

Гамма-лучами просвечивается сталь толщиной 10—300 мм, алюминий 10—100 мм. Оценкой чувствительности рентгеновских и гамма-снимков по обнаружению дефектов в шве является минимальный размер (выраженный в процентах по отношению к металлу) дефекта. Так, при просвечивании стали толщиной 10 мм гамма-снимок выявляет дефект размером 0,34 мм (3,4%), а рентгеновский дефект размером 0,15 мм (1,5%). Чувствительность гамма-снимков повышается с увеличением толщины металла и для стали толщиной 40—50 мм становится равной рентгеновскому (2% от толщины стали).

Вторым по своему значению для промышленного контроля сварных изделий является *ультразвуковой метод*. Ультразвуковые колебания получают чаще всего магнитострикционным и пьезоэлектрическим способами. При выполнении контроля рядом со швом на поверхности металла устанавливают пьезоэлектрический щуп ультразвукового дефектоскопа, который посылает в металл ультразвуковые колебания. Ультразвук вводится в изделие отдельными импульсами под углом к поверхности металла. В перерывах между импульсами пьезоэлемент щупа является приемником отраженного от дефекта ультразвука. При наличии дефекта в шве возникает отраженный луч, который благодаря пьезоэффекту воспринимается щупом и преобразуется в электрический

заряд. После усиления электрический заряд подается на трубку осциллографа, что дает возможность убедиться только в наличии дефекта, без определения характера обнаруженного дефекта в шве. С помощью ультразвука проверяют качество основного металла и сварных соединений толщиной от 5 до 3600 мм. Этим методом обнаруживаются трещины или непровары длиной более 5 мм, газовые или шлаковые включения диаметром более 1—1,5 мм при толщине изделия свыше 3 мм.

10. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При проведении всех видов сварки с использованием электрической энергии необходимо соблюдать следующие основные правила по предупреждению несчастных случаев.

От поражения током

1. Тщательно заземлять сварочные машины, трансформатор, рабочий стол сварщика и сварные конструкции.
2. Обеспечивать исправность изоляции электропроводов; провода и контактные соединения сварочных установок должны быть надежно изолированы и защищены от механических повреждений.
3. Все находящиеся под напряжением части электрододержателей должны быть хорошо защищены от случайного прикосновения.
4. После окончания работы или на время отлучки сварщика от рабочего места электрический ток должен быть выключен.
5. При проведении сварки в сырых помещениях или при сварке металлических резервуаров, котлов, сосудов, крупных металлоконструкций необходимо пользоваться диэлектрическими подмостками (без металлических гвоздей), резиновыми диэлектрическими ковриками (испытанными по правилам техники безопасности) для изоляции тела сварщика от земли и работать только с подручным, который должен находиться вне замкнутого пространства.
6. В случае поражения работающего электрическим током необходимо, не касаясь пострадавшего, вызвать

врача, выключить ток и оказать первую помощь пострадавшему. (делать искусственное дыхание) до прибытия врача.

От поражения лучами электрической дуги

1. Закрывать лицо и шею щитком или шлемом со специальными темными стеклами и надеть рукавицы.

2. Оградить место сварки кабинами, переносными щитами, ширмами для защиты от излучения сварочной дуги окружающих людей.

3. Предупредить окружающих людей о начале сварки.

От ожогов каплями расплавленного металла и шлака

Работать в исправной и сухой спецодежде и обуви, в комбинезоне из прочной материи или в брезентовых куртке и брюках навыпуск. При автоматической сварке работать в резиновых галошах и резиновых перчатках.

От взрыва сосуда и взрывоопасных веществ

1. Не производить сварку сосудов, находящихся под давлением.

2. Сварку тары, резервуаров из-под нефтепродуктов производить после предварительной очистки их путем промывки горячей водой и пропаривания паром в течение нескольких часов, или после промывки 10—20% раствором каустической соды и последующей продувки. Отверстия в таких резервуарах при заварке должны быть открытыми.

3. Удалить из сварочного помещения легковоспламеняющиеся вещества — керосин, бензин и т. п.

4. Не производить сварочных работ вблизи (ближе 5 м) легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ.

5. Тщательно следить за тем, чтобы на кислородную аппаратуру не попадало масло или жиры.

6. При обнаружении во время работы неплотностей в узлах горелки или резака следует немедленно погасить пламя и устранить неплотность.

7. При обратных ударах или частых хлопках, вызываемых нагревом или засорением мундштука, необходи-

мо быстро закрыть сначала ацетиленовый, затем кислородный вентиль и погрузить горелку в воду.

8. Не отогревать замерзшие вентили пламенем горелки или другим источником открытого пламени.

9. Баллоны, наполненные газами, должны находиться в вертикальном положении и их следует прикрепить к стене хомутами или цепями.

Для удаления вредных газов, паров и пыли с рабочих мест сварки и для подачи чистого воздуха необходимо иметь местную или приточно-вытяжную вентиляцию.

Вытяжной вентиляцией при дуговой сварке должно удаляться из сварочного помещения 4000—6000 м³ воздуха на 1 кг расходуемых электродов, а при газовой сварке или кислородной резке—1000—1500 м³/ч на 1 м³ расходуемого ацетилена.

Газовую сварку свинца, кадмия, цинка или их сплавов надлежит производить с использованием респираторов.

При газовой сварке или резке возможно образование взрывоопасных смесей ацетилена, природного газа, паров бензина и т. д. с воздухом и последующий взрыв. Следует строго руководствоваться мероприятиями по борьбе со взрывоопасностью при хранении, транспортировке и эксплуатации этих газов.

В процессе производства сварных конструкций можно получить ушибы, порезы в результате падения тяжелых и острых предметов, изделий, приспособлений и инструмента. Необходимо соблюдать меры предосторожности, использовать кантователи и механизированные подъемно-транспортные устройства.

VI Пайка и клеевые соединения металлов, сплавов и неметаллов

Общие сведения

Пайкой называют процесс соединения металлов и неметаллических материалов, находящихся в твердом состоянии, посредством расплавленного припоя, называемого припоем и имеющего температуру плавления ниже температуры плавления основного металла (или неметаллического материала). Процесс пайки применяется либо для получения отдельных деталей, либо для сборки узлов или окончательной сборки изделий. В процессе пайки происходит взаимное растворение и диффузия припоя и основного металла, чем и обеспечиваются прочность, герметичность, электропроводность паяного соединения. При пайке не происходит расплавления основного металла спаиваемых деталей, благодаря чему резко снижается степень коробления и окисления металла (ГОСТ 17325—71).

Для получения качественного соединения температура нагрева паяемых деталей в зоне шва должна быть на 50—100°С выше температуры плавления припоя. Спаиваемые детали нагревают в печах, в пламени газовой горелки, токами высокой частоты, паяльниками. Прочное соединение припоя (сплавление припоя) с основным металлом можно получить лишь в том случае, если поверхности паяемых деталей свободны от окислов и загрязнений.

Для защиты поверхностей паяемых деталей от интенсивного окисления в результате нагрева место пайки покрывают флюсом, который образует жидкую и газообразную преграду между поверхностями паяемых деталей и окружающим воздухом.

Процесс пайки заключается в следующем: при нагревании припой расплавляется и, соприкасаясь с нагретым, но свободным от окисной пленки основным метал-

лом, смачивает его и растекается по его поверхности. Способность припоя заполнять швы зависит от степени смачивания припоем основного металла, его капиллярных свойств и шероховатости поверхности паяемых деталей (рис. 205).

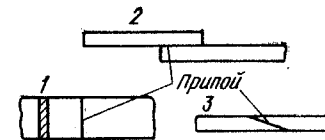


Рис. 205. Основные соединения при помощи пайки:
1 — стыковое; 2 — внахлестку; 3 — в ус

Глава I

ПАЙКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

1. ПРИПОИ

К припоям предъявляют следующие требования: высокая механическая прочность припоев в условиях нормальных, высоких и низких температур, хорошие электропроводность и теплопроводность, герметичность, стойкость против коррозии, жидкотекучесть при температуре пайки, хорошее смачивание основного металла, определенные для данного припоя температура плавления и величина температурного интервала кристаллизации. В зависимости от температуры плавления и прочности применяемых припоев различают низкотемпературную и высокотемпературную пайку.

При низкотемпературной пайке используют припой с температурами плавления ниже 400°С, обеспечивающими получение паяных швов с пределами прочности до 10 кгс/мм². Применяют следующие припои: оловянно-свинцовые, малооловянистые, легкоплавкие и специальные.

Припои оловянно-свинцовые (ПОС), имеющие температуру плавления $t_{пл} = 183 \div 265^\circ\text{C}$, представляют собой сплавы олова и свинца с добавкой 1,5—2,5% Sb и обозначаются ПОСС-4-6, ПОСС-30, ПОСС-50 (цифра показывает процент содержания олова).

Низкотемпературные припои ($t_{пл} = 60,5 \div 145^\circ\text{C}$) — сплавы олова, свинца, висмута и кадмия. Их применяют в случаях, когда требуется понижение температуры пайки из-за опасности перегрева деталей, а также для «ступенчатых» (вторых) паяк. Механическая прочность при-

поев незначительна, причем висмутовые припои обладают большей хрупкостью.

Алюминийцинковые и алюминийкремнистые припои используют для пайки алюминия и его сплавов. Применяют припои на оловянной основе, которые содержат цинк, кадмий и иногда алюминий, а также чистое олово (содержание олова 99,92%), причем лучшими являются оловянноцинковые, оловяннокадмиевые и кадмиевоцинковые сплавы ($t_{пл} = 197 \div 310^\circ \text{C}$), так как цинк и кадмий (особенно цинк) хорошо диффундирует в алюминий. Низкотемпературные припои поставляются в виде чушек, прутков, проволоки, ленты, а также трубок из оловянно-свинцового сплава, заполненных канифольевым флюсом. Применение трубчатых припоев значительно упрощает процесс паяльных работ и способствует его механизации. При этом виде пайки флюсы, как правило, необходимы.

При высокотемпературной пайке применяют припои с температурами плавления выше 400°C : медные ($t_{пл} = 1083^\circ \text{C}$), медноцинковые ($t_{пл} = 845 \div 900^\circ \text{C}$), меднофосфористые ($t_{пл} = 700 \div 830^\circ \text{C}$), серебряные ($t_{пл} = 635 \div 870^\circ \text{C}$) и др.

Высокотемпературные припои подразделяются на тугоплавкие с температурой плавления выше 875°C и легкоплавкие с температурой плавления ниже 875°C . Чистая электролитическая медь (марки М1 и М2) применяется в основном при пайке сталей в печах с защитной средой.

Медноцинковые припои обеспечивают получение паяных швов прочностью примерно в 10 раз большей, чем припои ПОС, их применяют при пайке меди, томпака, латуни, например медных трубок на двигателях, применяют медноцинковые припои и при газовой сварке (пайке) деталей из ковкого чугуна. В качестве медноцинковых припоев используют также латуни марок Л62 и Л68, а также ПОК 0,6—0,4 для пайки меди и сталей.

Меднофосфористые припои применяют как заменители серебряных припоев и мягких припоев. Их можно использовать только для пайки медных и латунных деталей, не работающих на изгиб, вибрацию и удар. Пайка меди меднофосфористыми припоями осуществляется без флюса; при пайке сплавов на основе меди флюс необходим. Меднофосфористые припои нельзя применять для пайки черных металлов, так как они плохо смачивают эти ме-

таллы и в пограничных диффузионных слоях образуются хрупкие фосфиды железа.

Наиболее высокое качество получается при высокотемпературной пайке серебряными припоями ПСр72, ПСр45, ПСр25, ПСр25ф, ПСр10, которые можно применять для пайки черных и цветных металлов (меди, бронзы, латуни) при условии, если температура плавления припоя ниже температуры плавления паяемого металла. При пайке алюминия и его сплавов применяют припои на основе алюминия ($t_{пл} = 525 \div 580^\circ \text{C}$): ПАК34А, П575А, П425А.

2. ФЛЮСЫ

Флюсы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Температура плавления флюса и его плотность должны быть ниже температуры плавления и плотности припоя.

2. Флюс должен полностью расплавляться и иметь хорошую жидкотекучесть при температуре пайки, но в то же время не должен быть слишком текучим, чтобы не «уходить» от места пайки.

3. Флюс должен своевременно и полностью растворять окислы основного металла, причем флюс должен действовать при температуре на несколько градусов ниже температуры плавления припоя.

4. Флюс не должен образовывать соединений с основным металлом и припоем, а также поглощаться ими.

5. Флюс должен равномерным слоем покрывать поверхность основного металла у места пайки, предохраняя его от окисления в продолжение всего процесса пайки. Однако для того, чтобы припой мог сплошным слоем покрывать поверхность основного металла, необходимо, чтобы адгезия флюса к основному металлу (т. е. силы сцепления между припоем и основным металлом) была слабее, чем адгезия припоя (т. е. силы сцепления между припоем и основным металлом).

6. Флюс не должен испаряться и выгорать при температуре пайки, а продукты его разложения и окислы должны вытесняться припоем, легко удаляться после пайки и не вызывать коррозии.

Для пайки низкотемпературными припоями применяют кислотные или активные, антикоррозионные, бескислотные, активизированные флюсы.

Кислотные или активные флюсы — на основе хлористых соединений — интенсивно растворяют окисные пленки на поверхности основного металла и тем самым обеспечивают хорошую адгезию и, следовательно, высокую механическую прочность соединения.

Остаток флюса после пайки вызывает интенсивную коррозию соединения и основного металла и поэтому после пайки место пайки нужно тщательно промыть. Для пайки проводников при монтаже электрорадиоприборов применять кислотные флюсы категорически запрещается.

К кислотным флюсам относятся хлористый цинк (обычно в виде 30%-ного водного раствора с добавкой 0,6—0,7% свободной соляной кислоты; $t_{пл}$ составляет около 263° С), флюс-паста (хлористый цинк или хлористый аммоний с соответствующим наполнителем: ланолин, вазелин, глицерин и т. п.; $t_{пл}$ = 263° С), флюс «Прима 1» (раствор хлористого цинк-аммония в смеси воды и этилового спирта с добавкой глицерина, $t_{пл}$ = 170° С).

Антикоррозионными флюсами являются флюсы на основе фосфорной кислоты с добавлением различных органических соединений и растворителей, а также флюсы на основе органических кислот. Флюсы этой группы не вызывают коррозии черных металлов и поэтому после пайки не нужно удалять остатки флюса.

Флюс ВТС (смесь технического вазелина с салициловой кислотой, триэтанололамином и этиловым спиртом) применяется для пайки меди, латуни, бронзы, константана, серебра, платины и сплавов платиновой группы. Этот флюс особенно удобен для пайки электромонтажных соединений, так как он обеспечивает чистоту и надежность пайки и не вызывает коррозии, даже если остается в местах пайки.

Пайка соединений при монтаже электрорадиоприборов производится, как правило, бескислотными флюсами на основе *канифоли*.

Сосновая канифоль представляет собой в основном смесь смоляных кислот. При хранении на воздухе канифоль поглощает кислород, причем поглощение тем больше, чем выше температура. Измельченная канифоль в смеси с воздухом способна взрываться. Температура

плавления (размягчения) канифоли колеблется в пределах 52—83° С; при 125° С канифоль переходит в жидкое состояние. Основное достоинство канифоли состоит в том, что в расплавленном состоянии (при температуре 150° С) она способна растворять окислы, а после затвердевания на паяном соединении остаток флюса не вызывает коррозии. Остаток канифоли не гигроскопичен и является хорошим изолятором, что также относится к числу достоинств канифоли как флюса для пайки монтажных соединений. Являясь поверхностно активным веществом, канифоль существенно улучшает растекание припоя.

Канифоль относится к флюсам химически мало активным и может применяться при условии, если детали тщательно подготовлены к пайке, т. е. зачищены или залужены.

В качестве флюсов для пайки монтажных соединений применяют натуральную канифоль, а также растворы канифоли в спирте (флюс КЭ и глицерино-канифольевый).

Активированные флюсы на основе канифоли применяют для пайки металлов и сплавов, плохо поддающихся пайке с канифольевым флюсом; они также ускоряют процесс пайки меди и медных сплавов. В качестве активизаторов в канифоль вводят в небольших количествах солянокислый анилин, фосфорнокислый анилин, феноловый ангидрид, солянокислый диэтиламин, салициловую кислоту и т. д. Лучшим из флюсов этой группы для пайки монтажных соединений является флюс с содержанием анилина.

Для пайки твердыми припоями применяют в основном *кислотные флюсы* с температурой плавления выше 750° С (их используют при пайке тугоплавкими припоями) и флюсы с температурой плавления ниже 750° С, применяющиеся для пайки сравнительно легкоплавкими серебряными припоями. В качестве тугоплавких флюсов наибольшее распространение получили *бура* и *борная кислота*.

Активной группой этих флюсов является борный ангидрид B_2O_3 , который, вступая в реакцию с окислами металлов, образует бораты. Бору применяют в виде безводной соли $Na_2B_4O_7$ и в виде кристаллической соли $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$.

Кристаллическая десятиводная бура начинает плавиться при 75° С, по мере повышения температуры нагре-

ва бура теряет воду, сильно при этом вспучиваясь и разбрызгиваясь, и постепенно переходит в безводную соль $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (плавленная или жженая бура), плавящуюся при температуре 783°C . Во избежание кипения буры при пайке ее обычно применяют в прокаленном виде. Кристаллизационную воду удаляют нагревом буры до $400\text{--}450^\circ\text{C}$. Активное действие буры начинается с температуры 800°C , при более низких температурах бура плохо растекается. В расплавленном состоянии бура может быть нагрета до высоких температур без заметного испарения, она весьма жидкотекуча и энергично растворяет окислы многих металлов, в особенности меди.

Борная кислота является менее активным флюсом, чем бура. Температура активного действия борной кислоты выше, чем буры, и составляет 900°C . Одну борную кислоту редко применяют в качестве флюса. Смеси буры и борной кислоты являются основой большинства флюсов. Для повышения активности смеси буры и борной кислоты при пайке нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов в состав флюсов вводят фтористый кальций и другие добавки.

В качестве легкоплавких флюсов для пайки серебряными и меднофосфористыми припоями в основном применяют смеси галоидных солей щелочных металлов с борнокислыми солями. Галоидные соли флюсуют окислы главным образом физическим растворением, борнокислые соли оказывают химическое действие.

Флюсы применяют в виде пасты, порошка и в жидком виде. Иногда флюсующее действие производит сам припой с соответствующими добавками раскислителей (например, меднофосфористые припои).

3. ПОДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ К ПАЙКЕ

Лужение. Перед пайкой поверхности деталей очищают от пыли, жира, краски, ржавчины, окислы и окисной пленки. В процессе зачистки получают шероховатую поверхность с целью увеличения смачивания основного металла. Зачистку производят напильником, наждачной бумагой, металлическими щетками (крацевание) и др.

Обезжиривание деталей перед пайкой производят в бензине или четыреххлористом углероде или детали подвергают травлению с последующей промывкой в воде

и просушиванием в сушильном шкафу во избежание коррозии. Очищенные детали следует хранить в условиях, исключающих попадания на них жира и грязи и возникновения коррозии. В большинстве случаев детали перед пайкой лудят, что облегчает последующую пайку.

Схема процесса лужения показана на рис. 206. Место пайки покрывают флюсом, затем при помощи паяльника

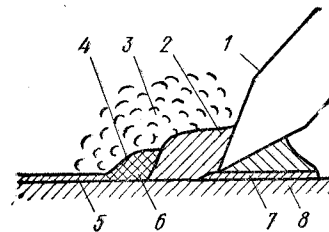


Рис. 206. Схема лужения паяльником:

1 — паяльник; 2 — припой; 3 — газообразный флюс; 4 — растворенный окисел; 5 — поверхностный слой окисла; 6 — флюс; 7 — зона сплавления припоя с основным металлом; 8 — основной металл

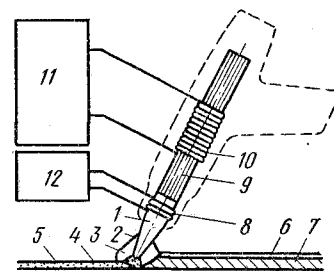


Рис. 207. Схема лужения вибрационным паяльником

наносится расплавленный припой. Температура детали в зоне пайки поддерживается паяльником и должна быть на $50\text{--}100^\circ\text{C}$ выше температуры плавления припоя. Если одна из поверхностей будет нагрета выше температуры плавления припоя, а вторая ниже, происходит нарушение процесса пайки, нагретую поверхность припой смачивает, а на второй он застывает и не затекает в зазоры.

Лужение производят также в ванночке с расплавленным припоем, при этом детали сначала погружают в сосуд с флюсом, а затем — в расплавленный припой.

При пайке алюминия с помощью ультразвука лужение поверхностей производится или паяльниками, вибрирующими с ультразвуковой частотой, или в специальных ультразвуковых ванночках с расплавленным припоем.

Схема процесса лужения вибрационным паяльником показана на рис. 207. Для возбуждения продольных колебаний рабочего стержня 1 паяльника применяют магнитострикционные вибраторы, представляющие собой

магнитопровод 9 с обмоткой возбуждения 10, питаемой переменным током от лампового генератора 11 при частоте от 20 до 25 кГц и создающей переменное электромагнитное поле.

Магнитопровод 9, соединенный с рабочим стержнем ультразвукового паяльника 1, создает интенсивные колебания, способные вызвать кавитацию (нарушение сплошности) расплавленного припоя в зоне пайки. Нагрев рабочего стержня паяльника осуществляется нагревательной обмоткой 8, питаемой переменным током от понижающего трансформатора 12. Применяются ультразвуковые паяльники и без нагревательного элемента. В этом случае нагрев детали, подлежащей лужению, до 260—300°С осуществляется от постороннего источника тепла — газовой горелки или электроплитки.

Лужение основного металла при помощи ультразвукового паяльника происходит в непосредственной близости от колеблющегося конца рабочего стержня паяльника, который излучает знакопеременные волновые давления, вызывающие растяжение и сжатие частиц жидкого припоя 2. В местах наибольшей интенсивности облучения растяжения влечут за собой кавитацию жидкого припоя и между его частицами появляются разрывы, которые мгновенно заполняются воздухом или газом, имеющимся в припое, образуя мельчайшие (размером в несколько микрон) пузырьки 3. За растяжением наступает сжатие частиц расплавленного припоя, и пузырьки немедленно после образования сжимаются, а затем захлопываются. Сжатие пузырьков вызывает повышение в них давления до сотен атмосфер, а их захлопывание сопровождается весьма большими ударными импульсами на окружающий их жидкий припой, а также на поверхность алюминиевых деталей, вызывая разрушение окисной пленки 4. Раздробленные частицы окисной пленки, обладающие меньшей плотностью, всплывают на поверхность припоя, который беспрепятственно облуживает очищенную поверхность основного металла.

Таким образом, под действием кавитации происходит эрозия окисной пленки под слоем расплавленного припоя, сплавление припоя с облаженным основным металлом 5 и образование слоя 6 сплава припоя с основным металлом (полуды). На поверхности затвердевшего слоя припоя остается слой 7 шлака, который представляет

собой частицы диспергированной окиси алюминия. Постепенно перемещая паяльник, покрывают припоем всю поверхность соединения.

Рабочий стержень паяльника, подвергающийся во время пайки воздействию эрозии, изготавливается из серебряноникелевого сплава, обладающего высокой кавитационной стойкостью.

Форму или размеры конца рабочего стержня паяльника для выполнения конкретной операции изменяют путем замены рабочей части стержня специальным приспособлением, которое должно иметь строго определенные размеры для соблюдения резонансных характеристик системы.

Ультразвуковой метод лужения обеспечивает высокую производительность, повышает механическую прочность и коррозионную стойкость соединений.

4. СПОСОБЫ ПАЙКИ

Низкотемпературную пайку можно применять почти для всех металлов в разнообразных сочетаниях, включая такие легкоплавкие металлы, как олово, свинец, цинк и их сплавы.

Нагрев при пайке производят паяльниками, газовыми горелками, электрическим током, плавлением припоя в ваннах и т. д. В большинстве случаев для пайки низкотемпературными припоями применяют паяльники из красной меди.

Размеры паяльника должны соответствовать размерам детали, чтобы паяльник, не охлаждаясь значительно, мог нагреть кромки детали до необходимой температуры. При монтаже электроприборов, как правило, применяют электрические паяльники непрерывного действия.

Высокопроизводительным способом пайки этими припоями является последовательное погружение деталей в раствор флюса, а затем в ванну с большим количеством расплавленного припоя, который применяется в данном случае не только как заполнитель зазоров, но и как источник тепла, быстро и одновременно нагревающий все соединяемые детали. Таким способом за одно погружение деталей в течение 1—2 мин можно спаять сотни, а иногда и тысячи деталей. Прочность низкотемпературных припоев незначительна, поэтому рабочие

соединения, подвергающиеся большой нагрузке, рекомендуется до пайки прочно скреплять точечной сваркой, заклепками, развальцовкой, шпильками и т. д., используя припой как средство уплотнения шва для герметичности.

В зависимости от характера нагрева при пайке высокотемпературными припоями различают газовую, погружением в металлические ванны, погружением в соляные ванны, дуговую, индукционную и контактные пайки.

Газопламенная пайка. При пайке нагрев осуществляется пламенем газовой горелки. В качестве горючего газа используют смеси различных газообразных или жидких углеводородов (ацетилен, метан, пары керосина и т. д.) и водород, которые при сгорании в смеси с кислородом дают высокотемпературное пламя. При пайке крупных деталей горючие газы и жидкости применяются в смеси с кислородом, при пайке мелких деталей — в смеси с воздухом. Пайку можно выполнять как горелками специального типа, дающими широкий факел, так и нормальными, сварочными.

При газовой пайке применяются как газообразные флюсы на основе металлбората, так и твердые флюсы — различные соли и их смеси, которые обычно используют в виде водных растворов.

Пайка погружением в расплавленный припой. Расплавленный припой в ванне покрывается слоем флюса. Подготовленная к пайке деталь погружается в расплавленный припой (металлическую ванну), который также является источником тепла. Для металлических ванн обычно используют медноцинковые и серебряные припои.

Пайка погружением в расплавленную соль. Состав ванны выбирают в зависимости от температуры пайки, которая должна соответствовать рекомендуемой температуре ванны при работе на смеси определенного состава. Ванна состоит из хлористых натрия, калия, бария и др.

Этот метод не требует применения флюсов и защитной атмосферы, так как состав ванны подбирают таким, что он вполне обеспечивает растворение окислов, очищает паяемые поверхности и защищает их от окисления при нагреве, т. е. является флюсом.

Детали подготавливают к пайке, на шов в нужных местах укладывают припой, после чего опускают в ванну с расплавленными слоями, являющимися флюсом и ис-

точником тепла, где припой расплавляется и заполняет шов.

Для обеспечения хорошего заполнения припоем швов между соединяемыми деталями в соляные ванны добавляют 4—5% буры, а также производят раскисление ванны ферросилицием или ферромарганцем, которые вводят в ванну в количестве 1% от массы соли. Для соляных ванн используют медные, медноцинковые, серебряные и другие припои, а для деталей из алюминия — припой из силумина.

Электродуговая пайка. При дуговой пайке нагрев осуществляется дугой прямого действия, горячей между деталями и электродом, или дугой косвенного действия, горячей между двумя угольными электродами.

При использовании дуги прямого действия обычно применяют угольный электрод (угольная дуга), реже — металлический электрод (металлическая дуга), которым служит сам стержень припоя. Угольную дугу направляют на конец стержня припоя, касающегося основного металла, так, чтобы не расплавлять кромок детали. Металлическую дугу применяют при токах, достаточных для расплавления припоя и очень незначительно оплавливающих кромки основного металла. Для пайки дугой прямого действия пригодны высокотемпературные припои, не содержащие цинка. При помощи угольной дуги косвенного действия можно выполнять процесс пайки высокотемпературными припоями всех типов. Для нагрева этим способом применяют специальную угольную горелку. Ток к электродам подается от машины для дуговой сварки. Дуговые горелки менее удобны для пайки, чем газовые, поэтому их применяют обычно при небольшом объеме работ по пайке.

Индукционная пайка (пайка токами высокой частоты). При индукционной пайке детали нагреваются индуктируемыми в них вихревыми токами. Индукторы (рис. 208) изготавливаются из медных трубок, преимущественно прямоугольного или квадратного сечения в зависимости от конфигурации деталей, подлежащих пайке.

При индукционной пайке быстрый нагрев детали до температуры пайки обеспечивается использованием энергии высокой концентрации. Для предохранения индуктора от перегрева и расплавления применяется водное охлаждение.

Для защиты поверхности деталей от окисления и окалины применяют твердые флюсы. Для этой же цели индукционную пайку проводят в вакууме или в восстановительной, или нейтральной средах.

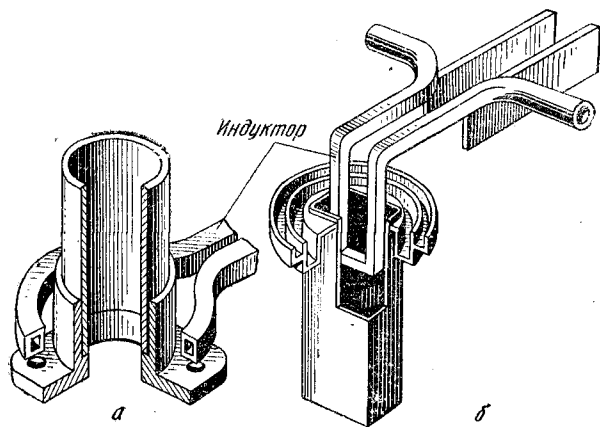


Рис. 208. Петлевые индукторы для нагрева наружной (а) и внутренней (б) поверхностей детали

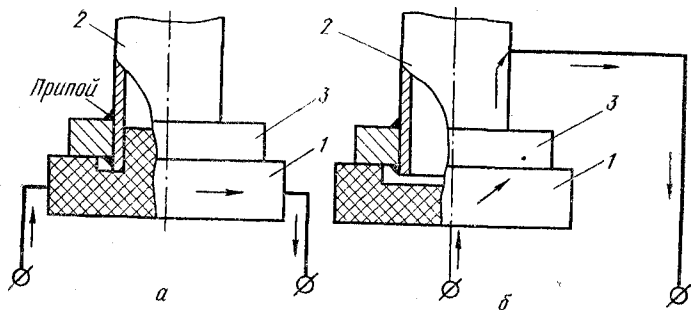


Рис. 209. Схемы установок для пайки с электроконтактным нагревом

Индукционную пайку можно производить высокотемпературными припоями почти всех типов, но медь и медноцинковые припои для пайки деталей из меди и ее сплавов не рекомендуются. Для флюсования применяют буру, ее смесь с борным ангидридом и т. д.

В качестве источников питания при высокочастотной пайке применяют ламповые генераторы, а также установки с машинными генераторами повышенной частоты.

Пайка электросопротивлением. При этом способе пайки электрический ток низкого напряжения (4—12 В), но сравнительно большой силы (2000—3000 А) пропускают через электроды и за короткое время нагревают их до высокой температуры; детали нагреваются как за счет теплопроводности от нагретых электродов, так и за счет тепла, выделяемого током при его прохождении в самих деталях. Схемы установок для пайки с электроконтактным нагревом показаны на рис. 209.

При косвенном нагреве (рис. 209, а) электрический ток течет по электроду 1 и нагревает его, а детали 2 и 3 нагреваются от электрода за счет теплопроводности.

При прямом нагреве (рис. 209, б) детали 2 и 3 непосредственно включены в электрическую цепь и по ним протекает ток. Они нагреваются за счет тепла, выделяемого проходящим по ним электрическим током, и за счет теплопроводности от электрода 1. Расход электроэнергии при прямом нагреве примерно в два раза меньше, чем при косвенном нагреве.

При прохождении электрического тока паяемое соединение нагревается до температуры плавления припоя, и расплавленный припой заполняет шов. Контактную пайку производят или на специальных установках, обеспечивающих питание током большой силы и малого напряжения, или на обычных машинах для контактной сварки.

Во всех установках ток подводится к паяемым деталям через электроды, которые изготовляют из меди, графита (например, электрографита марки ЭГ2) и сплавов (ЭИ437; Х30; Х18Н25С; Х12М). При контактной пайке применяют высокотемпературные припои: медь, латуни, серебряные припои и т. д. В ряде случаев необходимо применять флюс (в основном буру или ее водный раствор).

Пайка в печах. Для пайки используются электрические печи и реже — пламенные печи. Нагрев деталей под пайку производят в обычной, восстановительной или обладающей защитными свойствами средах. Пайку высокотемпературными припоями производят с применением флюсов. При пайке в печах с контролируемой средой подлежащие пайке детали из чугуна, меди или медных

сплавов соединяют с возможно малым зазором, затем на шов накладывают высокотемпературный припой в виде проволоки, кусочков или специально штампованных фасонных колец. Собранные таким образом паяемые узлы помещают в печь, разогретую до температуры, несколько превышающей температуру плавления припоя; в камеру печи из специальной установки подают защитную (контролируемую) атмосферу (восстановительную или обладающую защитными свойствами).

Пайку в печах иногда заменяют пайкой в специальных герметических контейнерах, продуваемых восстановительным газом и устанавливаемых в печь после загрузки в них деталей. Пайка в восстановительной среде обеспечивает соединения высокой прочности, предохраняет соединяемые детали от окисления и обезуглероживания и обеспечивает высокую производительность, так как допускает групповую обработку деталей. При пайке в восстановительной среде деталей из конструкционных сталей не следует применять флюсы, это значительно упрощает технологию. В качестве восстановительной среды применяют диссоциированный аммиак — азотодородную смесь ($2\text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 3\text{H}_2$).

Для предохранения деталей от обезуглероживания иногда применяют среду на основе окиси углерода. В качестве восстановительных и слабовосстановительных сред применяют еще генераторный древесноугольный газ и продукты сгорания природного газа после удаления CO_2 и H_2O . К защитным средам относятся нейтральные газы (аргон, гелий). Газовую восстановительную и защитную среды применяют для пайки сталей, чугуна, меди и ее сплавов с оловом и никелем, а также для пайки никеля и его сплавов.

В качестве припоев при пайке в печах служат электrolитическая медь М1, М2, латунь Л62 (пайка черных металлов), легкоплавкие серебряные и медные припои (пайка меди и ее сплавов, нержавеющей стали, чугуна), специальные алюминиевые припои (пайка алюминия и его сплавов) и др.

Ступенчатой пайкой называют процесс, применяемый для соединения нескольких деталей в один узел припоями с различной температурой плавления. При этом способе сначала паяют часть узла припоем с более высокой температурой плавления, а затем производят пайку при-

поем с более низкой температурой плавления. Можно применять также ступенчатую пайку с тремя последовательными процессами.

Пайка соединений металлов с неметаллическими материалами. Пайкой можно получить соединения металлов со стеклом, кварцем, фарфором, керамикой, графитом, полупроводниками и другими неметаллическими материалами.

Ввиду различия физико-химических свойств металлов и неметаллических материалов природа связи в паяных швах будет иной, чем в соединениях между металлами. При пайке металлов основным условием образования прочного соединения является удаление с поверхности соединяемых металлов и припоя слоя окислов. При пайке же металлов с неметаллическими материалами, такими, как стекло, кварц и др., состоящими из окислов, образование паяного соединения будет происходить между металлом и окислами элементов. При пайке металлов с графитом и полупроводниками соединение создается между еще более различными по природе материалами. Ввиду резкого различия коэффициентов термического расширения и других свойств металлов и неметаллических материалов технологические процессы пайки последних разработаны в меньшей степени, чем для металлов.

Соединение металлов с неметаллами с применением металлических связок производят серебряными припоями, содержащими значительное количество титана и циркония (25—50%), которые обладают способностью одновременно смачивать поверхность металлов и неметаллических материалов. Основные трудности при пайке кварца с металлами вызываются большим различием коэффициентов линейного расширения соединяемых пар. Соединение металлов с неметаллическими материалами в результате совместного смачивания их расплавленным припоем образуется также при пайке металлов с графитом. И в этом случае применяют припой, содержащие титан и цирконий, которые являются сильными карбидообразователями и хорошо смачивают графит. Однако эти припои имеют низкую коррозионную стойкость в расплавах солей, в которых могут работать паяные соединения металлов с графитом. Перспективным является припой, состоящий из 35% Au, 35% Ni и 30% Mo, который пригоден для пайки молибдена с графитом и графита с гра-

фитом и дает соединения, устойчивые в среде расплавленных солей.

Соединение металлов с неметаллами осуществляется также путем применения переходных слоев из стекла, глазури и эмали. В спаях металла со стеклом, получаемых с применением легкоплавких промежуточных стекол, опасность образования трещин уменьшается, так как напряжения в контакте металл — стекло оказываются значительно ниже, чем в спаях без переходного стекла. Этот способ позволяет производить предварительное покрытие металла стеклом при строго определенных режимах, а последующее соединение элементов изделия сводится к простому сплавлению стекла со стеклом. Применение предварительного покрытия металла более легкоплавким стеклом рекомендуется также в тех случаях, когда соединяемый металл не смачивается стеклом, с которым он должен быть соединен.

Третья группа технологических процессов соединения металлов с неметаллами, когда на неметаллический материал перед пайкой наносится пленка металла, характерна для пайки металлов со стеклом и керамикой. В этом случае перед пайкой на поверхность стекла или керамики путем вжигания серебра или платины (металлизации), восстановлением окислов или другими способами наносят слой металла. После этого пайка принципиально ничем не отличается от обычной, применяемой при соединении металлов.

На поверхность деталей из керамики, специальных сортов стекла, слюды и кварца обычно наносят металлический (серебряный) слой способом вжигания. Способ вжигания основан на проникновении металлического серебра в поверхностные слои керамики, стекла, слюды и кварца. К такому слою можно припаивать металл.

Сущность вжигания состоит в том, что серебро, содержащееся в виде химических соединений (Ag_2CO_3 или Ag_2O) в составе пасты, при нагревании до определенной температуры восстанавливается в металлическое серебро и прочно сцепляется с поверхностными слоями керамики, стекла, слюды и кварца, чему способствует плавлен (обычно V_2O_5 и PbV_4O_7), добавляемый в пасту. Для придания пасте способности прилипания к поверхности различных материалов в нее добавляют связку ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}$).

5. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ ПАЙКИ

После окончания пайки и охлаждения паяного шва остатки флюсов необходимо удалять. Если при пайке низкотемпературными припоями используют бескислотные канифольевые флюсы, то остатки их не опасны и в доступных местах их удаляют механическим путем, обычно протиркой соединений хлопчатобумажным лоскутом, смоченным спиртом или другим растворителем.

Для удаления остатков флюсов, вызывающих коррозию паяного соединения, применяют промывку в горячей (обычно $50-80^\circ\text{C}$) или холодной воде (в проточной или в ваннах), в 5%-ном растворе кальцинированной соды, бензине и в 1—3%-ном растворе натриевого (или калиевого) хромпика, а также протирку мягкой тряпкой или бязью, смоченной спиртом, ацетоном и другими растворителями, и пескоструйную обработку.

6. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ УЗЛОВ С ПАЯНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Типовые паяные соединения показаны на рис. 210. Паяные швы отличаются от сварных по конструктивной форме и способу образования. В отличие от сварного шва (рис. 211, а) у паяного соединения (рис. 211, б) на участке 2, 3 галтель припоя имеет вогнутую форму с очень плавными переходами от припоя к поверхности основного металла.

Зазор по всей ширине нахлестки на участке 1, 2 полностью заполнен припоем. Основной металл не оплавляється, геометрические формы кромок и поверхностей соединяемых деталей сохраняются. Прочность паяного соединения почти не зависит от размеров галтелей припоя, но сильно изменяется при изменении размера участка 1, 2, определяющего величину нахлестки, которая обеспечивает прочность паяного шва, равную или превосходящую предел прочности основного металла. Кроме того, сварка идет при последовательном наложении сначала верхнего шва 2, 3, а затем нижнего, а в процессе пайки образование обеих галтелей и заполнение припоем зазора по ширине нахлестки на участке 1, 2 происходят почти мгновенно.

Тип паяного соединения выбирают с учетом эксплуатационных требований, предъявляемых к узлу, и технологичности узла в отношении пайки. Наиболее распространенным видом соединения является пайка внахлестку.

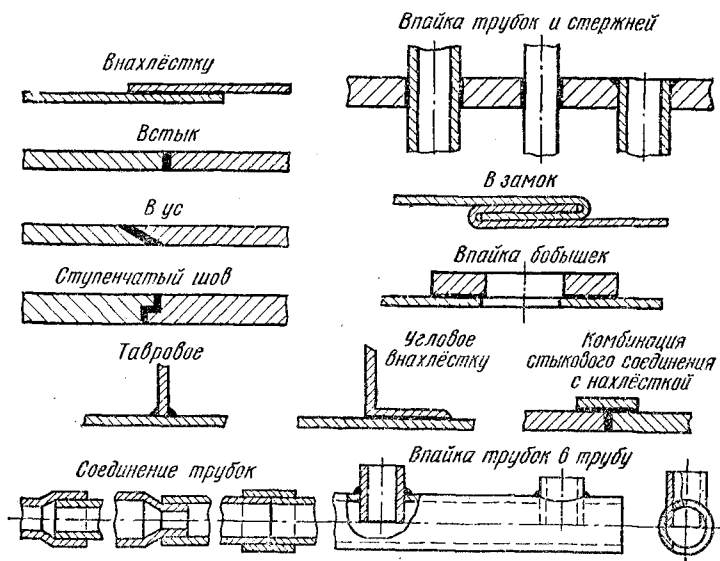


Рис. 210. Типовые паяные соединения

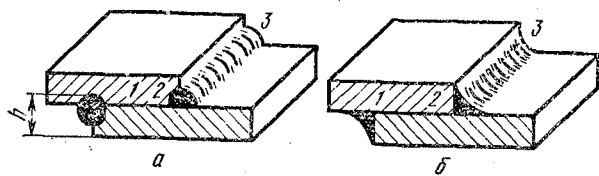


Рис. 211. Форма и элементы сварного (а) и паяного (б) швов при соединении внахлестку

ку. В узлах, работающих при значительных нагрузках, где, кроме прочности шва, необходима герметичность, детали следует соединять только внахлестку. Швы внахлестку обеспечивают прочное соединение, удобны при выполнении и не требуют проведения подгоночных операций, как это имеет место при пайке встык или в ус.

Стыковые соединения обычно применяют для деталей, которые нерационально изготовлять из целого куска металла, а также в тех случаях, когда нежелательно удваивать толщину металла. Их можно применять для мало нагруженных узлов, где не требуется герметичность. Механическая прочность припоя (особенно низкотемпературного) обычно бывает ниже прочности соединяемого металла; для того чтобы обеспечить равнопрочность паяного изделия, прибегают к увеличению площади сая путем косога среза (в ус) или ступенчатого шва; часто с этой целью применяют комбинацию стыкового соединения с нахлесткой.

Качество и прочность пайки в значительной степени зависит от применяемого припоя. При выборе припоя необходимо учитывать следующие факторы: материал соединяемых деталей, необходимую чистоту и прочность шва, последующую после пайки обработку (например, термообработку) и условия эксплуатации.

Наличие и величина зазоров между поверхностями деталей, соединяемых пайкой, имеет решающее значение. При больших зазорах или при отсутствии их пайка невозможна. При проектировании паяных соединений величину зазоров необходимо выбирать с учетом материала деталей и типа припоя.

Величина зазоров меньше всего зависит от способа нагрева, так как решающими при пайке являются жидкотекучесть используемых припоев, явление капиллярности коэффициент линейного расширения материала деталей, соединяемых пайкой, а также направление распространения нагрева во время пайки.

При пайке стальных деталей высокотемпературными припоями зазоры в соединениях обычно выбирают в пределах 0,04—0,05 мм, но допускаются зазоры и больших размеров (иногда до 0,25 мм). При пайке меди и ее сплавов высокотемпературными припоями зазоры задают в пределах 0,076—0,38 мм. Для серебряных припоев рекомендуется зазор 0,05—0,08 мм, для пайки медью в среде защитного газа — не более 0,012 мм. Зазоры между деталями при сборке под пайку низкотемпературными припоями задают в пределах 0,05—0,2 мм. В этих же пределах нужно выдерживать зазоры при пайке припоями магниевых (иногда до 0,3 мм) и алюминиевых сплавов. Увеличение размера зазора между соединяемыми

поверхностями обычно приводят к ухудшению всасывания жидкого припоя под действием капиллярных сил, к понижению прочности соединения и к излишнему расходу припоя.

Высокие требования в отношении величины зазора заставляют производить достаточно чистую механическую обработку соединяемых поверхностей, что необходимо также для более плотного их прилегания одна к другой. Эти поверхности обрабатывают до 4—6-го класса; более высокий класс шероховатости ухудшает смачиваемость припоем соединяемых поверхностей.

Глава II

КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Склеивание как метод сборки неподвижных и неразъемных соединений получило в последнее время большое распространение. Особенно быстро внедряется склеивание элементов металлических конструкций самолетов, ракет и др. Склеиваются преимущественно пластмассы, стекло, керамика, легкие сплавы — алюминиевые, магниевые, реже — стали углеродистые, нержавеющие, титан и др.

Основные преимущества склеивания следующие: гладкость наружных поверхностей склеиваемых элементов; лучшая герметичность, обеспечиваемая самим клеем; экономия материала; снижение трудоемкости и стоимости, особенно при тонкостенных конструкциях; отсутствие ослабления соединяемых элементов отверстиями под заклепки и т. п.

Конструктивно клеевые соединения могут иметь самое разнообразное оформление (рис. 212). Наиболее распространены соединения со стыковым элементом (планкой, втулкой и т. п.). Применяют и ряд других конструктивных форм.

Склеивание отличается простотой технологии, легко может быть механизировано и автоматизировано. Надежное соединение деталей малой толщины с применением неметаллических материалов во многих случаях возможно только склеиванием. В практике выполнения клеевых соединений широко применяется карбонильный клей, в частности для склеивания калибров, сборочных приспособлений, при вклейке вставных ножей в сборные инструменты и др.

Вместо клепки, сварки или пайки деталей часто применяется клей марки БФ-2, БФ-4, ВК-32-ЭМ и др., причем прочность клеевого соединения не уступает прочности других видов соединений. Лучшие результаты по прочности получаются при склеивании стальных, чугуновых и дюралюминиевых деталей.

Вместо клепки, сварки или пайки деталей часто применяется клей марки БФ-2, БФ-4, ВК-32-ЭМ и др., причем прочность клеевого соединения не уступает прочности других видов соединений. Лучшие результаты по прочности получаются при склеивании стальных, чугуновых и дюралюминиевых деталей.

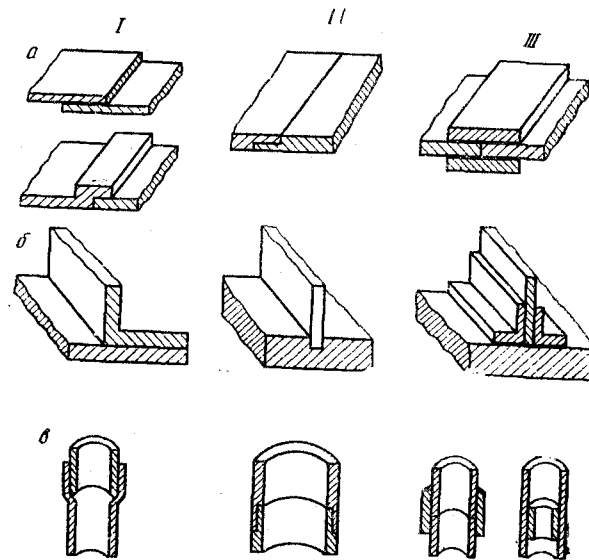


Рис. 212. Рекомендуемые конструктивные формы клеевых соединений:

a — плоскостные; *б* — тавровые; *в* — цилиндрические; I — внахлестку; II — врезные (шпунтовые); III — соединения встык

Хорошо оправдывает себя склеивание вместо склеивания облицовочных материалов к колодкам в тормозных системах. Приклеивание тормозных накладок к тормозным колодкам широко применяется в автотракторном производстве. С помощью клея марки ВС-10-М склеивают металлы с пластмассами, дюралюминий, стали различных марок со стеклотекстолитом (типов КАСТ, 911, 911а, 911с и др.). Такие соединения обладают высокой прочностью и водостойкостью. Для приклеивания неметаллических материалов к металлу применяется

термостойкий вид клея различных марок: ИПЭ-9, БФК-9, ЭФ-9, К-10, К-105 и др.

Результаты испытания на прочность соединений, полученных контактной сваркой и склеиванием, показывают большие перспективы применения клеевых соединений деталей машин. Механическая прочность склеенного соединения зависит от вида и качества клея, от качества склеиваемых поверхностей, плотности их прилегания, толщины слоя клея и равномерности его распределения, а также от соблюдения температурного режима.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СКЛЕИВАНИЯ

Технологический процесс клеевого соединения деталей независимо от их конструкции, разнообразия склеиваемых материалов и марок клеев состоит из следующих этапов: подготовки поверхностей к склейке; нанесения клея; сборки склеиваемых деталей, склеивание при определенных температурах и давлении с последующей выдержкой; очистки шва от подтеков клея и контроля качества клеевого соединения.

Подготовка поверхностей к склеиванию сводится к их взаимной подготовке, очистке от пыли и жира и приданию необходимой шероховатости. Например, алюминиевые сплавы обезжириваются в ацетоне или обрабатываются в кислотных ваннах, где одновременно с обезжириванием происходит процесс травления. Кислотная ванна, кроме того, придает металлу шероховатую поверхность.

Качество клеевого шва в значительной степени зависит от приемов нанесения клея. Клеи могут быть жидкими, пастообразными или в виде клеящей пленки. Наиболее рациональны клеящие пленки, не требующие изменения толщины клеевого слоя. Хорошие результаты можно получить при нанесении клея с помощью пульверизатора. Во всех случаях клей следует наносить в одну сторону во избежание попадания в него пузырьков воздуха.

Выдержка после нанесения клея, содержащего растворитель, обязательна. Необходимо до прессования дать открытую выдержку, во время которой происходит удаление из клея влаги и летучих веществ, при этом клей приобретает нужную вязкость, уменьшается усадка клеевого шва, снижаются внутренние напряжения и вероятность появления внутренних раковин.

Сборка и склеивание деталей между собой осуществляется при помощи специальных приспособлений и оборудования. В сборочном приспособлении детали с нанесенным клеем должны устанавливаться во взаимно правильное положение и фиксироваться зажимными устройствами.

Основным оборудованием для склеивания являются гидравлические или пневматические прессы, вакуумные установки и т. п.

Для затвердевания клея нужны определенный температурный режим и повышенное давление в печах. Для этой цели используют печи с обогревом газами, горелками, установки с электронагревом, установки т. в. ч., установки, обогреваемые инфракрасными лучами, и др. Температурный режим для различных случаев склеивания колеблется от 25 до 250° С и выше. Различным для разных сортов клея и материала склеиваемых деталей должно быть и время выдержки (от 5 мин до 30 ч и выше).

Контролю и испытанию клеевого соединения следует придавать большое значение. Основной дефект, который часто имеет место при склеивании, это так называемый непрочлей (наличие участков, в которых не произошло соединения склеиванием). Наиболее совершенным методом контроля качества готовой продукции при современной технике следует считать использование ультразвуковых установок. В ряде случаев проверку качества склейки производят через лупу, путем контроля специально подготовленных образцов и т. п.

Определенное количество из серии склеенных деталей проходит испытания на разрушение. Качество склейки считается удовлетворительным, если разрушение произошло по материалу детали, а не по клею.

2. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА ПРИ РАБОТЕ С КЛЕЯМИ

Большинство синтетических клеев содержит в свободном состоянии значительное количество органических растворителей и других химических продуктов, которые могут отрицательно сказываться на здоровье работающих с этими клеями.

Склеивание (главным образом нанесение клея, сборка изделий и прессование с нагревом) перечисленными

выше клеями может производиться в производственных помещениях со специально оборудованной приточно-вытяжной и местными отсосами воздуха на участке склеивания больших поверхностей. Отсосы должны устанавливаться также у мест, где производится точечная электросварка по клею. Склеивание мелких деталей рекомендуется производить в вытяжных шкафах. Работу с клеями БФ-2, БФ-4 и МПФ-1 можно производить в цехе при наличии общей приточно-вытяжной вентиляции.

На рабочих местах, где производится зачистка подтеков клея и где выделяется клеевая пыль, также необходимо устанавливать специальные пылеотсосы.

Полы в клееприготовительных мастерских для удобства очистки и мытья покрываются метлахскими плитками, а стены на высоту 1,5—2 м окрашиваются масляной краской. Лица, работающие с клеями, должны иметь следующую спецодежду: комбинезон из плотной ткани, фартуки из прорезиненной ткани или хлорвиниловой пленки, в ряде случаев при длительном контакте клея с кожей рук — перчатки или напальчники из хлорвинила или резины, нарукавники из хлорвиниловой пленки (главным образом в клееприготовительной мастерской), косынку на голове и очки для предохранения глаз от брызг клея.

Спецодежда по окончании работы должна храниться в специальных шкафчиках отдельно от личной одежды рабочих и очищаться от клея по мере загрязнения.

При работе с клеями, содержащими большое количество летучих органических растворителей, так же как и при обезжиривании поверхностей легковоспламеняющимися растворителями, необходимо соблюдать соответствующие противопожарные мероприятия.

РАЗДЕЛ VII ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Общие сведения

Обработка металлов и других конструкционных материалов представляет собой совокупность действий, направленных на изменение формы и размеров заготовки путем снятия припуска режущими инструментами на металлорежущих станках, обеспечение заданную точность и чистоту поверхности.

Современное машиностроение предъявляет очень высокие требования к точности и состоянию поверхностей деталей машин, которые можно обеспечить в основном только механической обработкой.

В зависимости от формы деталей, характера обрабатываемых поверхностей и требований, предъявляемых к ним, их обработку можно производить различными способами: механическим (точение, фрезерование, строгание, сверление, протягивание и шлифование и др.) электрофизическим и электрохимическим (обработка электронскровая, электроконтактная, анодно-механическая, химическая, химико-механическая, электрохимическая и др.), ультразвуковым, лучевыми (обработка электронным лучом, световым лучом и др.).

Каждый из способов обработки осуществляется на соответствующем оборудовании и имеет свою область рационального применения.

В результате технического прогресса в СССР произошли коренные изменения в производстве деталей машин и механизмов. Широкое применение получила технология обработки деталей путем использования высокопроизводительных станков и приспособлений и современных режущих инструментов из новых быстрорежущих сталей, твердых сплавов и алмазов. Все это позволяет резко повышать производительность труда, улучшать качество при одновременном снижении себестоимости механической обработки.

В нашей стране производятся самые сложные и самые точные станки, создано большое число станочных

автоматических линий, повышающих производительность и получивших широкое применение в условиях крупносерийного и массового производства. Выдающимся достижением отечественного станкостроения является освоение и производство во все возрастающем количестве станков с программным управлением.

На большинстве машиностроительных заводов в общей трудоемкости изготовления машин обработка резанием составляет 45—60% и поэтому совершенствование технологии резания является весьма актуальной технической задачей.

Изучение закономерностей, протекающих в процессе обработки материалов резанием, совершенствование конструкций режущих инструментов, приспособлений и металлорежущих станков, крайне необходимо как для рационального управления процессами резания, так и для разработки и внедрения более совершенных технологических процессов изготовления деталей машин, аппаратов и приборов.

Глава I

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Виды обработки металлов резанием различаются между собой конструкцией используемого режущего инструмента и характером относительных движений, совершаемых инструментом и обрабатываемой заготовкой на металлорежущем станке.

Геометрическая форма любой поверхности может быть образована копированием или огибанием сопряженной поверхностью. Требуемый контур детали получается в результате сочетания определенных движений инструмента и заготовки.

Классификация методов обработки поверхностей деталей резанием учитывает кинематические признаки (по принципу сочетания движений заготовки и инструмента) и признаки, определяющие сущность данного метода обработки — условия процесса стружкообразования (фи-

зические особенности процесса резания). В соответствии с этим принципом все методы обработки резанием разделяют на четыре группы: точение, строгание, фрезерование и шлифование.

Методы обработки различных групп могут осуществляться при одних и тех же сочетаниях прямолинейных и вращательных движений. Отличительным признаком каждой группы являются вид и направление главного

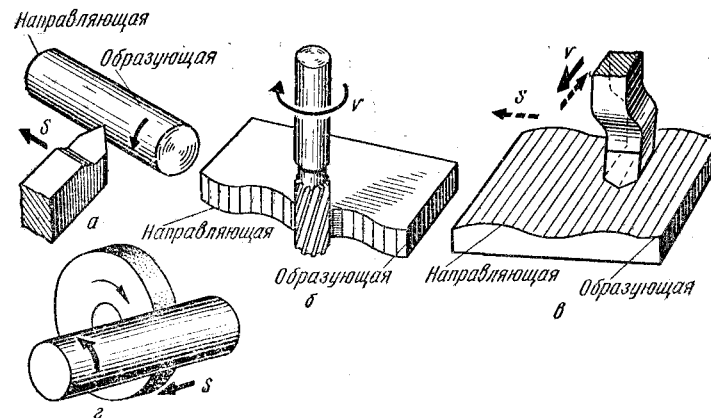


Рис. 213. Методы обработки поверхностей деталей резанием: а — точение; б — фрезерование; в — строгание; г — шлифование

движения или движения резания, в процессе которого происходит срезание припуска. Главное движение, определяющее скорость резания, является либо вращательным, либо прямолинейным. Оно сообщается заготовке или режущему инструменту, а в ряде случаев одновременно заготовке и режущему инструменту.

При точении (рис. 213, а) главное движение — это движение по направляющей обрабатываемой поверхности. При точении наружных и внутренних поверхностей вращения главным движением является вращение вокруг оси детали.

При фрезеровании (рис. 213, б) траектория главного движения не совпадает с обрабатываемой поверхностью. Здесь главным движением является вращение вокруг оси инструмента — фрезы.

При строгании (рис. 213, в) главное движение пред-

ставляют собой прямолинейное движение вдоль образующей или по касательной к направляющей обрабатываемой поверхности.

Все остальные движения, присущие кинематике различных схем резания, обеспечивают постепенное удаление припуска. Эти движения, определяющие толщину среза (срезаемого слоя), являются движениями подачи.

Эти движения либо прямолинейные, либо вращательные и сообщаются режущему инструменту или заготовке. Скорости главного рабочего движения и движения подачи обозначаются соответственно v и S . Направление главного движения определяет характер протекания процесса обработки. Методы точения характеризуются непрерывностью процесса резания при обработке непрерывных поверхностей. Методы фрезерования характеризуются прерывистостью процесса резания с образованием стружки, толщина которой меняется от нуля до некоторой максимальной величины и наоборот.

Строгание — промежуточный процесс между точением и фрезерованием. Строгание можно рассматривать как частный случай точения с постоянной толщиной среза, но с перерывами в работе при обработке поверхностей вращения и плоскостей, когда главное движение направлено вдоль образующей. Строгание является частным случаем фрезерования при обработке поверхностей вращения и винтовых поверхностей, когда главное движение направлено по касательной к направляющей.

При шлифовании (рис. 213, г) главным движением является вращение шлифовального круга вокруг оси. Методы шлифования характеризуются специфическими особенностями работы абразивного инструмента.

Для разных видов обработки применимы общие понятия и определения. Для удобства рассмотрим их на примере точения,

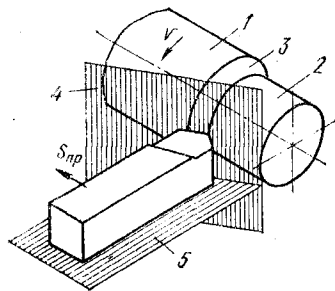


Рис. 214. Координатные плоскости и поверхности обрабатываемой заготовки

Поверхности заготовки и координатные плоскости. На обрабатываемой заготовке различают следующие элементы (рис. 214): обрабатываемую поверхность 1, которая будет удалена в результате обработки; обработанную поверхность 2, полученную после снятия стружки; поверхность резания 3, образуемую на обрабатываемой заготовке главным режущим лезвием и являющуюся переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями.

За координатные плоскости принимают плоскость резания 4, касательную к поверхности резания и проходящую через главное режущее лезвие и основную плоскость 5, параллельную направлению продольной и поперечной подачи.

2. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА

Резец (рис. 215) состоит из стержня I, служащего для закрепления его в резцедержателе станка, и рабочей части II (головки).

Различают следующие элементы режущей части резца: передняя поверхность, по которой сходит стружка, главная задняя поверхность, которая обращена к поверхности резания, вспомогательная задняя поверхность, обращенная к обработанной поверхности заготовки, главное режущее лезвие, образованное пересечением передней и главной задней поверхностей (оно совершает основную работу резания), вспомогательное режущее лезвие, образованное пересечением передней и вспомогательной задней поверхностей.

Вершина резца — точка пересечения режущих лезвий. Для увеличения износостойкости резца и повышения чистоты обработанной поверхности вершину его закругляют

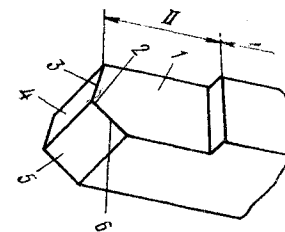


Рис. 215. Части и элементы токарного прямого проходного резца:

1 — передняя поверхность; 2 — вершина резца; 3 — вспомогательное режущее лезвие; 4 — вспомогательная задняя поверхность; 5 — главная задняя поверхность; 6 — главное режущее лезвие

дугой окружности или срезают прямолинейным переходным лезвием.

Взаимное расположение этих элементов образует клинообразную форму режущей части инструмента в сечении, нормальном к его режущему лезвию.

Углы заточки режущей части резца. Углы резца определяют взаимное расположение поверхностей его режущей части, а также остроту режущего клина, форму поперечного сечения срезаемого слоя.

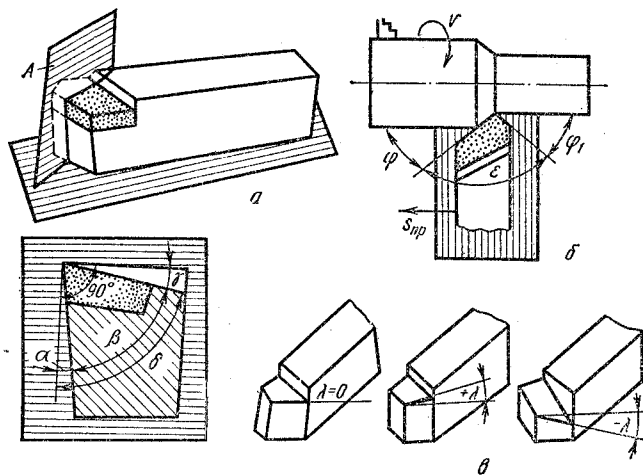


Рис. 216 Углы заточки режущей части резца: а — главные углы; б — углы в плане; в — угол наклона главного режущего лезвия

Главные углы резца измеряются в главной секущей плоскости А, которая проходит перпендикулярно к проекции главного режущего лезвия на основную плоскость (рис. 216, а).

Главным передним углом γ называется угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания, проходящей через главное режущее лезвие. Его назначение — уменьшить усилие деформации срезаемого слоя металла.

Главным задним углом α называется угол между касательной к главной задней поверхности и плоскостью резания; он служит для уменьшения трения между глав-

ной задней поверхностью резца и поверхностью резания заготовки.

Вспомогательным задним углом α_1 называется угол между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через вспомогательное режущее лезвие перпендикулярно основной плоскости.

Углом заострения β называется угол между передней и главной задней поверхностями резца. Угол β на чертеже обычно не обозначают, так как его величину определяют из выражения

$$\beta = 90^\circ - (\alpha^\circ + \gamma^\circ).$$

Углом резания δ называется угол между передней поверхностью резца и плоскостью резания. Значение угла δ определяют из выражения

$$\delta = 90^\circ - \gamma^\circ.$$

Если $\delta < 90^\circ$, то угол γ положительный, если $\delta > 90^\circ$, то угол γ отрицательный и обозначается со знаком минус.

Вспомогательные углы резца α_1 и γ_1 измеряются во вспомогательной секущей плоскости, перпендикулярной проекции вспомогательного режущего лезвия на основную плоскость.

Главным углом в плане φ называется угол между проекцией главного режущего лезвия на основную плоскость и направлением подачи. От его величины зависит форма поперечного сечения срезаемого слоя, чистота обработанной поверхности, износ инструмента (рис. 216, б).

Вспомогательным углом в плане φ_1 называется угол между проекцией вспомогательного режущего лезвия на основную плоскость и направлением, противоположным подаче. Он оказывает влияние на чистоту обработанной поверхности.

Угол в плане при вершине резца ϵ измеряют между проекциями режущих лезвий на основную плоскость. Его величину определяют из выражения

$$\epsilon = 180^\circ - (\varphi^\circ + \varphi_1^\circ).$$

Углом наклона главной режущей кромки λ называется угол, заключенный между режущим лезвием и линией, проведенной через вершину резца параллельно основ-

ной плоскости; как видно из рис. 216, в, угол λ может быть равен нулю, иметь отрицательное или положительное значение в зависимости от расположения главного режущего лезвия относительно основной плоскости. Угол λ определяет положение передней поверхности резца в пространстве и влияет на направление схода стружки.

Этот угол измеряется в плоскости, проходящей через главное режущее лезвие перпендикулярно основной плоскости, и считается положительным, когда вершина резца занимает самое низкое положение среди точек главного режущего лезвия относительно основной плоскости; отрицательным этот угол считается, когда вершина резца занимает высшее положение, а нулевым — когда главное режущее лезвие параллельно основной плоскости.

Определения углов резца даны для случая, когда резец установлен своей вершиной на высоте оси вращения обрабатываемой детали с расположением геометрической оси стержня резца перпендикулярно оси вращения детали.

Изменение условий установки приводит к изменению величины углов. Так, при наружной обточке установка вершины резца выше оси вращения обрабатываемой детали приводит к уменьшению заднего угла α и к увеличению переднего угла γ ; установка вершины резца ниже оси вращения обрабатываемой детали приводит к увеличению заднего угла α и к уменьшению переднего угла γ .

При внутренней обточке установка вершины резца выше и ниже оси вращения обрабатываемой детали приводит к обратному характеру изменения заднего и переднего угла по сравнению с наружной обточкой.

3. РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ И РАЗМЕРЫ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

Снятие припуска с заготовки для получения требуемой формы и размеров детали осуществляется при определенных перемещениях (движениях) инструмента относительно детали.

Эти движения делятся на главное движение, которое определяет скорость деформирования металла и отделение стружки, т. е. скорость резания, а также движение подачи, которое обеспечивает непрерывность процесса резания.

Главное движение служит для осуществления процесса резания (срезания припуска), а движение подачи — для осуществления последовательного непрерывного или прерывистого удаления припуска по всей обрабатываемой поверхности.

Элементами резания при токарной обработке являются: скорость резания v , подача s и глубина резания t .

Скорость резания v — путь перемещения точки режущего лезвия относительно поверхности резания в единицу времени, т. е.

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин,}$$

где D — диаметр обрабатываемой поверхности, мм;
 n — число оборотов детали в минуту.

Подача s — величина перемещения резца относительно обработанной поверхности за один оборот при точении или за один рабочий ход при строгании и долблениях.

При точении различают продольную подачу вдоль линии центров станка, поперечную подачу — перпендикулярно линии центров и наклонную подачу — под углом к линии центров.

Глубина резания t — величина срезаемого слоя с поверхности заготовки за один проход. Глубина резания измеряется в направлении, перпендикулярном обработанной поверхности. При наружной обточке глубина резания определяется по формуле

$$t = \frac{D - d}{2} \text{ мм,}$$

где D — диаметр обрабатываемой поверхности, мм;
 d — диаметр обработанной поверхности, мм.

Объем металла, срезаемого за одну минуту, определяется следующим выражением:

$$G = vst \text{ см}^3/\text{мин.}$$

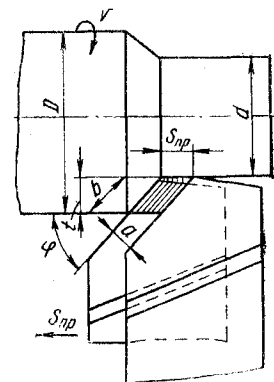


Рис. 217. Элементы резания и геометрия срезаемого слоя

Основное (технологическое) время обработки поверхности заготовки определяют из выражения

$$T_3 = \frac{Lh}{nst} \text{ мин,}$$

где L — путь перемещения инструмента при обработке поверхности заготовки за один проход, мм;
 h — припуск на сторону;
 отношение $h/t = i$ — число проходов.

Параметрами поперечного сечения срезаемого слоя являются толщина a и ширина b . На рис. 217 показано два последовательных положения режущих лезвий резца при наружной обточке за один оборот изделия.

Толщина срезаемого слоя a — расстояние между двумя последовательными положениями поверхности резания за один оборот или один проход изделия или инструмента, измеренное в направлении, перпендикулярном к режущему лезвию.

Ширина срезаемого слоя b — расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по поверхности резания. Толщина a и ширина b срезаемого слоя могут быть выражены через подачу s и глубину резания t :

$$\text{при } t > s \quad a = s \sin \varphi; \quad b = \frac{t}{\sin \varphi};$$

$$\text{при } t < s \quad a = t; \quad b = s.$$

Номинальное сечение срезаемого слоя f измеряется в плоскости, перпендикулярной к вектору скорости резания. Площадь f номинального сечения срезаемого слоя равна:

$$f = st = ab \text{ мм}^2.$$

Приведенные соотношения показывают, что при неизменных t и s можно изменять форму поперечного сечения срезаемого слоя металла за счет изменения главного угла в плане.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Инструментальные материалы должны обладать: 1) высокой твердостью и износостойкостью; 2) высокой теплостойкостью — способностью сохранять режущие свойства при высоких температурах; 3) высокой проч-

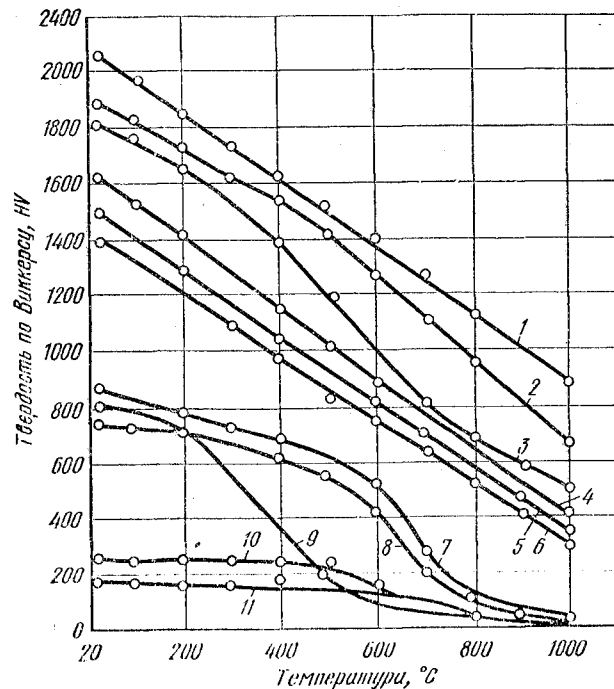


Рис. 218. Изменение твердости инструментальных и обрабатываемых материалов в зависимости от температуры:

- 1 — минералокерамика ЦМ332; 2 — ВК2; 3 — Т30К4; 4 — Т15К6; 5 — ВК8; 6 — Т5К10; 7 — Р18; 8 — У10А; 9 — Р9; 10 — 40ХНМА; 11 — 18ХГТ

ностью и ударной вязкостью; 4) технологичностью и экономичностью — хорошей обрабатываемостью и минимальным содержанием дефицитных легирующих элементов без ущерба для режущих свойств.

Совершенствование материалов для режущих инструментов связано с возможностями металлорежущего оборудования, требованиями повышения производительности процесса резания, повышением механических свойств обрабатываемых материалов.

Углеродистые инструментальные стали находят в настоящее время весьма ограниченное применение по причине их низкой теплостойкости (200—250°С). На смену им пришли легированные и быстрорежущие инструментальные стали, твердые сплавы (рис. 218, кривая 8).

1. МАЛОЛЕГИРОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

Эти стали дешевые, они позволили повысить скорости резания по сравнению с углеродистыми сталями в 1,2—1,4 раза. Их используют для инструментов, работающих со сравнительно небольшими скоростями резания (сверла, круглые плашки, протяжки, метчики).

Некоторые из этих сталей (9ХС, ХВГ) незначительно деформируются при закалке, поэтому их применяют для изготовления инструментов сложной формы и большой длины. Сталь 9ХС имеет равномерное распределение карбидов, что повышает ее прочность и ударную вязкость.

Однако малолегированные стали недостаточно универсальны, не позволяют работать с высокими скоростями резания, обрабатывать высоколегированные стали и сплавы.

2. БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ

Эти стали имеют значительное содержание легирующих элементов, таких как вольфрам, ванадий, хром, молибден, кобальт.

После соответствующей термической обработки они приобретают высокую твердость и имеют теплостойкость до 500—650°С, что позволяет использовать их при увеличении скорости резания по сравнению с углеродистыми сталями в три—четыре раза. Типичный представитель этих сталей — сталь Р18, весьма универсальная и технологичная (рис. 218, кривая 7 и 9). Высокие режущие свойства этой стали обеспечиваются легированием ее

вольфрамом (17—19%), хромом (около 4%) и ванадием (до 1,5%).

Быстрорежущие стали совершенствуются с помощью оптимального химического состава их с целью экономии дефицитного вольфрама, а также увеличения теплостойкости и износостойкости инструментов. Кроме вольфрамовых (Р18, Р12 и др.), различают следующие группы быстрорежущих сталей.

Ванадиевые стали, у которых повышено содержание ванадия по сравнению с маркой Р18. Добавление ванадия повышает износостойкость режущих инструментов за счет весьма твердых его карбидов. К этой группе сталей относится сталь Р9, в которой содержание вольфрама снижено до 9%, что делает ее дешевле и менее дефицитной, а содержание ванадия повышено до 2,5%.

К этой группе сталей относятся также марки Р18Ф2, Р9Ф5, Р14Ф4.

Недостатком ванадиевых сталей, ограничивающим их использование, является их низкая шлифуемость.

Кобальтовые стали. Добавление кобальта позволяет существенно повысить теплостойкость быстрорежущих сталей и их износостойкость. Это в свою очередь открывает возможность обработки жаропрочных и нержавеющей сталей. К таким сталям относятся марки Р18К5 (РК5), Р18К10 (РК10), Р9К5, Р9К10.

При обработке весьма прочных сталей стойкость инструментов из этих сталей в 4—4,5 раза выше, чем у инструментов, изготовленных из стали Р18.

Однако эти стали более дорогие, чувствительны к ударным нагрузкам.

Вольфрамомолибденовые стали. В последние годы все более широкое применение получают вольфрамомолибденовые стали, в которых вольфрам частично заменен молибденом. Так, в сталях марок Р6М5, Р9М4 вольфрама содержится только 6 или 9%. Достоинством вольфрамомолибденовых сталей является более равномерное распределение карбидов, что повышает их прочность и ударную вязкость.

Исследования показали, что более дешевые и менее дефицитные вольфрамомолибденовые стали не уступают режущим свойствам стали Р18, а в некоторых случаях превосходят ее.

Как показали исследования, режущие свойства воль-

фрамомолибденовых сталей можно значительно улучшить дополнительным легированием их кобальтом и микролегированием редкоземельными элементами, такими как цирконий, ниобий.

Известны также и другие методы, применяемые для совершенствования инструментальных материалов, например определение оптимальных режимов термической обработки, насыщение поверхности инструмента твердыми составляющими (азотирование, электронное упрочнение).

Большое влияние на режущие свойства инструмента оказывают условия шлифования и заточки. Высокие температура и контактные напряжения, возникающие при шлифовании, являются источником временных и остаточных напряжений, структурных и фазовых превращений, что существенно снижает режущие свойства инструмента.

При правильном подборе абразивных материалов и режимов шлифования можно предупредить возникновение этих нежелательных явлений.

3. МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

Появление металллокерамических твердых сплавов было подлинной революцией в обработке металлов резанием. Их использование позволило увеличить скорости резания в 8—10 раз по сравнению с быстрорежущими сталями. Их получают методом порошковой металлургии путем спекания и прессования порошков карбидов тугоплавких металлов, таких как вольфрам, титан и тантал с порошком кобальта.

При этом получают пластинку, в которой основой служат карбиды, а связкой кобальт. Пластинка заданной формы напаяется или механически крепится к корпусу инструмента. Теплостойкость твердых сплавов составляет 800—900°С, а твердость и износостойкость значительно выше, чем у быстрорежущих сталей (рис. 218, кривые 2—6).

Прочность (особенно усталостная) сплавов возрастает с увеличением содержания кобальта, однако при этом снижается их износостойкость. В стандартных марках твердых сплавов содержание кобальта колеблется от 2 до 15%. Прочность твердых сплавов относительно невы-

сокая (в три раза меньше, чем быстрорежущих сталей). Твердые сплавы с малым содержанием кобальта обладают более высокой износостойкостью, но весьма хрупки. Увеличение содержания кобальта до 15% снижает их износостойкость до уровня быстрорежущих сталей.

Наиболее часто применяемые твердые сплавы делят на три группы: 1) однокарбидные вольфрамкобальтовые сплавы ВК; 2) двухкарбидные вольфрамтитановые сплавы ТК; 3) трехкарбидные титантанталвольфрамовые сплавы ТТК.

Однокарбидные вольфрамкобальтовые сплавы ВК. Эти сплавы состоят из двух структурных фаз: высокотвердых карбидов вольфрама, обеспечивающих сплаву высокую твердость и теплостойкость, и кобальта, обеспечивающего сплаву необходимую прочность.

Наиболее часто применяют сплавы марок ВК8, ВК6, ВК4, ВК3, ВК2. Цифра при букве К обозначает процентное содержание кобальта, все остальное — карбиды вольфрама. Сплав ВК8 используют для черновой, а сплавы ВК3 и ВК2 для чистовой обработки.

Свойства сплавов можно изменять за счет технологии их изготовления, например изменением величины карбидного зерна. Так, сплавы ВК6М, ВК3М с мелким зерном обладают более высокой стойкостью против истирания, но прочность их несколько меньше по сравнению со сплавами марок ВК3 и ВК6. Сплав ВК8В имеет крупное зерно и поэтому он более прочен, но несколько уступает сплаву ВК8 в износостойкости. Сплавы ВК используют для обработки чугунов и цветных металлов, пластмасс, а также весьма прочных, закаленных сталей.

Двухкарбидные вольфрамтитановые сплавы ТК. Сплавы ТК состоят из трех структурных фаз: твердого раствора карбидов вольфрама в карбидах титана — сложного карбида, свободного карбида вольфрама и кобальта.

Более высокие режущие свойства по сравнению со сплавами ВК двухкарбидные сплавы ТК приобретают за счет образования сложного карбида. Повышается твердость, теплостойкость, одновременно несколько снижается механическая прочность.

Наиболее часто используют сплавы марок Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4. Химический состав этих сплавов расшифровывают по следующему правилу: цифра при

букве Т обозначает процентное содержание карбидов титана, при букве К — кобальта, все остальное — карбиды вольфрама.

Наиболее прочным, но относительно менее износостойким является сплав Т5К10, наиболее износостойким, но более хрупким — сплав Т30К4. Сплавы ТК имеют высокую износостойкость и теплостойкость, поэтому их применяют для обработки сталей.

Трехкарбидные титантанталвольфрамовые сплавы ТТК. Указанные сплавы состоят из трех фаз: твердого раствора карбидов титана, карбидов тантала и карбидов вольфрама — сложного карбида, свободного карбида вольфрама и кобальта. Добавка тантала увеличивает усталостную прочность сплава, снижает склонность к трещинообразованию при циклических изменениях температуры. Представителями этих сплавов являются ТТ7К12, ТТ10К8, ТТ20К9. Химический состав расшифровывается так: цифра при буквах ТТ обозначает суммарное процентное содержание карбидов титана и тантала, при букве К — кобальта, все остальное — карбиды вольфрама.

Сплав ТТ7К12 успешно применяют при тяжелых условиях резания, например при строгании сталей с большими сечениями срезаемого слоя металла — до 60—80 мм². Сплав ТТ10К8 показал в 5—6 раз более высокую стойкость при полустойкой и чистой обработке жаропрочных сплавов по сравнению со сплавом Т5К10.

Качество твердосплавного инструмента, его работоспособность можно значительно повысить за счет совершенствования технологии их изготовления. Недостаточная механическая прочность твердых сплавов еще более снижается при изготовлении инструмента в процессе напайки и заточки. При напайке за счет различного коэффициента теплового расширения державки резца и пластины, а при шлифовании за счет значительного теплового градиента температур по сечению возникают напряжения, которые приводят к местным пластическим деформациям, а отсюда и к остаточным напряжениям, снижающим прочность.

Радикальное средство предупреждения этих явлений — использование инструментов с механическим креплением твердосплавной пластинки и алмазная заточка.

4. МИНЕРАЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

Указанные сплавы представляют собой поликристаллическое тело, состоящее из мельчайших зерен корунда (окиси алюминия Al_2O_3) размер которых не превышает 2 мкм, соединенных минеральной связкой (рис. 218, кривая 1).

Их получают литьем под давлением или горячим прессованием. Обладают теплостойкостью до 1200°С и высокой твердостью. Однако прочность в десять раз меньше, чем у быстрорежущих сталей. Высокая износостойкость и отсутствие дефицитных металлов делают минералокерамические твердые сплавы весьма перспективным материалом для режущих инструментов. Однако низкая прочность ограничивает их применение только для чистовых операций в условиях весьма жесткой системы станок — инструмент — деталь.

Для повышения режущих свойств минералокерамики при спекании добавляют карбиды молибдена, вольфрама и титана. Такие материалы называют керметами. Они мало распространены в производстве, но с успехом применяются для обработки труднообрабатываемых материалов.

5. АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Абразивные материалы — это мелкозернистые вещества высокой твердости, используемые для изготовления абразивного инструмента: кругов, головок, сегментов, брусков и т. д. Абразивные материалы делят на естественные и искусственные. К естественным относятся: наждак, кварцевый песок, корунд, алмаз. Из этих материалов наибольшее практическое значение сохранил только алмаз, так как абразивный инструмент из естественных материалов не имеет однородных свойств. К искусственным материалам относятся электрокорунды, карбиды бора, окись хрома, синтетические алмазы.

Абразивные материалы имеют высокую твердость. Так, например, если микротвердость алмаза принять за 100%, то микротвердость карбидов бора составит 43%, карбидов кремния 30%, электрокорунда 20%, а закаленной стали всего 10% от микротвердости алмаза. Наряду с высокой твердостью абразивные материалы име-

ют красностойкость 1800—2000°С и обладают высокой износостойкостью. Эти свойства абразивных материалов позволяют вести обработку на скоростях резания от 15 до 70 м/с.

Абразивные материалы используют главным образом для окончательной обработки деталей машин, когда к ним предъявляют повышенные требования по точности и чистоте обрабатываемых поверхностей.

Электрокорунд (Э) разделяют по цвету и структуре на белый, содержащий 98—99% Al_2O_3 , нормальный с содержанием не менее 91% Al_2O_3 , и монокорунд (М), содержащий 97—98% Al_2O_3 . Электрокорундовые шлифовальные круги применяют для обработки материалов с высоким сопротивлением на разрыв.

Карбид кремния имеет зерна более твердые и хрупкие, чем зерна электрокорунда. В зависимости от содержания SiC его разделяют на два вида: черный карбид кремния (КЧ), содержащий 95—97% SiC, и зеленый карбид кремния (КЗ) с содержанием более 97% SiC. Круги из черного карбида кремния применяют для обработки материалов с низким сопротивлением на разрыв и вязких металлов и сплавов. Круги из зеленого карбида кремния используют преимущественно для заточки твердосплавного и минералокерамического режущего инструмента.

Порошок карбида бора серо-черного цвета применяют при притирочных и доводочных работах, для доводки твердосплавного инструмента и шлифования очень твердых материалов (рубина, кварца, корунда и т. п.). Абразивные порошки (окись хрома, венскую известь, трепел) используют для изготовления шлифовальных и полировальных паст.

6. АЛМАЗЫ И АЛМАЗНЫЕ РЕЗЦЫ

Алмазы следует относить к особой группе абразивных материалов. В промышленности алмазы используют либо в виде порошков, либо в виде мелких кристаллов, причем применяют как естественные (А), так и искусственные (синтетические) алмазы (АС), состоящие на 95,5% из кристаллизованного углерода.

Алмаз считается самым твердым материалом, имеет высокую красностойкость и износостойкость, хорошо

сопротивляется привариванию обрабатываемого материала и стружки к режущему лезвию. Недостатком его является значительная хрупкость.

Около 70% технических алмазов применяют для изготовления алмазных кругов и алмазных мелкозернистых порошков. Алмазные круги и порошки применяют при шлифовальных, точных и доводочных работах при изготовлении инструментов и деталей из твердых сплавов. Около 20% алмазов используют для правки шлифовальных кругов и корунда и карбидов кремния в виде отдельных алмазов или алмазных карандашей. Кристаллы алмазов применяют для оснащения режущего инструмента (резцов, сверл и др.). Масса кристаллов, идущих на оснащение режущего инструмента, достигает 0,2—0,75 карата (1 карат = 0,2 г).

Область применения алмазов с каждым годом расширяется. Особое значение приобретают алмазы для обработки таких твердых материалов, как германий, кремний, корунд, полупроводниковые материалы, специальные виды керамики, жаропрочные, нержавеющие стали и др. Применение алмазов открывает широкие возможности для технического прогресса, повышения производительности труда и снижения себестоимости продукции. При использовании инструментов, оснащенных алмазами, резко повышается качество обработанных поверхностей деталей. Скорость резания при обработке любых материалов составляет не менее 100 м/мин. Есть случаи, когда при обработке алмазными резцами скорость резания достигала более 3000 м/мин. При обработке алмазным инструментом резко повышается чистота обработанных поверхностей, размеры обработанных поверхностей деталей отличаются большой стабильностью, так как алмазы обладают высокой размерной стойкостью вследствие малого износа в процессе обработки.

Алмазные резцы. В целях повышения точности и чистоты обработанной поверхности применяют тонкое точение (расточивание) алмазными резцами, которые обладают большой износостойкостью, твердостью и наименьшим коэффициентом трения. Алмазные резцы применяют при обработке материалов с повышенной абразивной способностью: пластмасс, изоляционных материалов, полупроводниковых материалов и т. д., а также бронз, латуней, алюминия и легких сплавов. При обработке пласт-

масс алмазными резцами их стойкость выше стойкости твердосплавных в сотни раз.

Вследствие хрупкости алмаза углы резания резца доводят до 90° , а иногда передний угол делают даже отрицательным. Задний угол равен 10° . Кристаллы алмазов крепят в державках механическим способом, пайкой, или заливают припоем.

Глава III

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Обработка металлов и других конструкционных материалов резанием имеет целью удаление с заготовки части металла в виде стружки для придания ей необходимой геометрической формы, размеров, точности и чистоты поверхностей. При срезании стружки наблюдается пластическая деформация, выделение большого количества тепла, наростообразование, упрочнение и т. п. На рабочие поверхности инструмента и заготовки действуют значительные контактные напряжения, под влиянием которых инструмент интенсивно изнашивается.

Изучение закономерностей этих явлений позволяет сознательно управлять процессом резания, определять оптимальные условия обработки заготовок на металлорежущих станках.

1. ЯВЛЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

При внедрении режущей части инструмента в обрабатываемый материал образуется упруго- и пластически деформированный объем — зона опережающей деформации или зона стружкообразования, которая охватывает как срезаемый слой, так и часть материала под обработанной поверхностью.

Будущий элемент стружки вначале деформируется упруго, затем пластически и, наконец, когда напряжения превзойдут предел прочности, отделяется от основного металла. Образовавшийся элемент стружки при своем движении по передней поверхности резца допол-

нительно деформируется вследствие трения. Вот почему нижние прирезцовые слои стружки всегда значительно деформированы, чем наружные.

В зависимости от условий резания и свойств обрабатываемого материала стружка может иметь различную форму. Образующаяся при резании стружка в зависимости от условий обработки может быть элементная, скальвания, сливная (при обработке пластичных материалов, в частности стали). При обработке хрупких материалов (чугун, бронза) образуется стружка надлома.

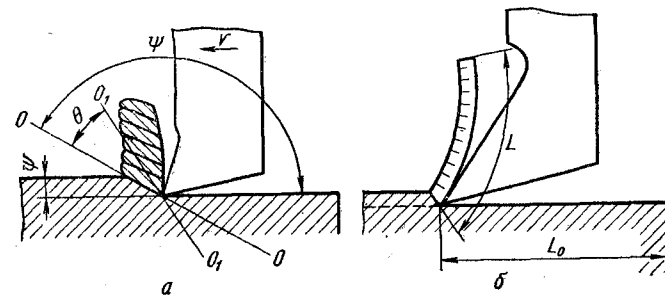


Рис. 219. Схема деформации и стружкообразования: а — схема деформации; б — усадка стружки

Элементная стружка состоит из отдельных элементов, не связанных друг с другом, и образуется при обработке твердых и малопластичных материалов с низкими скоростями резания.

Стружка скальвания образуется при обработке пластичных материалов со средними скоростями резания, большими толщинами и малыми передними углами.

Сливная стружка получается в виде ленты без зазубрин, образуется при обработке пластичных материалов с более высокими скоростями резания, с большими передними углами и меньшей толщиной срезаемого слоя, чем при образовании стружки скальвания.

Стружка надлома состоит из отдельных элементов неопределенной формы, не связанных между собой.

На рис. 219, а, приводится схема образования стружки скальвания. Скальвание отдельных деформированных элементов происходит по направлению расположе-

ния плоскости скалывания φ . Угол носит название угла скалывания. Величина угла равна $145-155^\circ$ и зависит от свойств обрабатываемого материала, скорости резания, толщины срезаемого слоя и угла резания δ .

Сливная стружка не имеет плоскостей скалывания, и пластическая деформация происходит в направлении плоскостей сдвига.

Усадка стружки. Величина усадки стружки является мерой степени пластической деформации срезанного слоя (рис. 219, б). Величина усадки стружки определяется коэффициентом усадки

$$K = \frac{L_0}{L},$$

где L_0 — длина срезаемого слоя;
 L — длина стружки.

Деформация срезаемого слоя и формообразование новой поверхности происходит под действием силы резания, зависящей от глубины резания t , подачи s , свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров режущей части инструмента, степени его износа и других условий обработки.

2. НАРОСТООБРАЗОВАНИЕ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Нарост представляет собой застойную зону сильно деформированного обрабатываемого металла на передней поверхности инструмента. По структуре нарост отличается от обрабатываемого металла и имеет значительную твердость.

Сильно деформированные вытянутые наслоения нароста образуют клиновидную форму. Нарост не является стабильным по времени: он периодически разрушается (иногда до 200 раз в секунду) под действием сил трения между стружкой и наростом и сил трения в месте контакта нароста с поверхностью резания. Разрушение и восстановление нароста приводит к изменению геометрии режущей части инструмента (угол резания δ_n при наросте меньше угла резания δ , созданного заточкой), рис. 220, а.

Нарост значительно снижает качество обработанной поверхности. Периодически внедряясь в обрабатываемый

металл за пределы линии среза, нарост увеличивает глубину резания до значения t_1 до t_2 (рис. 220, б), создавая значительную шероховатость поверхности и изменяя действительный размер обработанной поверхности. При точении шероховатость от нароста в направлении скорости резания при скоростях $v = 10-30$ м/мин во много раз больше шероховатости остаточных гребешков (в направлении подачи). Неодинаковая степень упрочнения обработанного поверхностного слоя детали

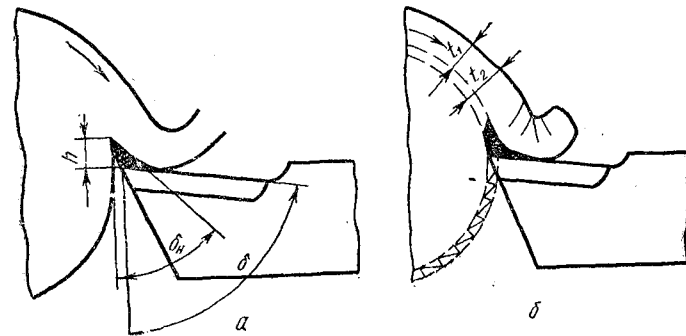


Рис. 220. Схема наростообразования:

а — изменение геометрии режущей части реза; б — изменение глубины резания при разрушении нароста

приводит к появлению остаточных напряжений после обработки.

Профессором Н. Ф. Казаковым экспериментально было установлено, что образование нароста на режущей кромке инструмента объясняется скоплением мельчайших частиц материала, которые под влиянием давления и высокой температуры привариваются к режущему инструменту, при этом была определена та минимальная температура, при которой имело место приваривание в зависимости от состава и свойств инструментальных материалов (быстрорежущей стали, твердых сплавов ВК и ТК) и обрабатываемых материалов.

Для образования на режущей кромке инструмента нароста при резании некоторых материалов характерно то, что он образуется, если обрабатываемый и инструментальный материал близки по химическому составу,

например твердыми сплавами группы ТК невозможно качественно обработать титан и его сплавы; минерало-керамическими (Al_2O_3) резцами практически невозможно обработать резанием алюминий и его сплавы и т. п.

Прежде считали, что нарост оказывает благоприятное влияние на продолжительность работы резца, предохраняя режущую кромку от износа под влиянием трения и температуры. Результаты исследований показали обратное. Нарост оказывает неблагоприятное влияние на весь процесс резания; значительно ухудшается качество поверхности изделия вследствие неспокойной работы инструмента, возникает неравномерная подача и в первую очередь преждевременное повреждение режущей кромки инструмента. При обработке твердым сплавом наросты чаще всего образуются из-за неправильного выбора режимов резания и прежде всего скорости резания — слишком низкой для соответствующего обрабатываемого материала и сечения стружки. При этом срок службы режущей кромки инструмента сокращается, так как она в результате срыва наростов выкрашивается. Установлено, что наростообразование уменьшается при повышении твердости обрабатываемого металла, увеличении переднего угла, применении смазочно-охлаждающих жидкостей и более тщательной доводке передней поверхности инструмента.

Упрочнение поверхностного слоя — наклеп. Тонкий поверхностный слой обрабатываемой заготовки деформируется за линией резца. При прохождении относительно задней поверхности резца этот слой дополнительно деформируется. В результате на обработанной поверхности появляется тонкий слой металла, обладающий твердостью в 1,5—2 раза большей, чем твердость исходного материала.

В этом слое в результате неравномерной деформации и нагрева по сечению возникают также остаточные напряжения (растягивающие или сжимающие), которые вместе с изменением твердости существенно влияют на эксплуатационные свойства детали.

Степень упрочнения зависит от пластичности металла и возрастает с увеличением угла резания, а также толщины срезаемого слоя. В поверхностном слое заготовки возможны структурные превращения под действием высоких температур резания.

3. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

В процессе резания металлов выделяется тепло. Основным источником образования теплоты при резании является работа, затраченная на деформацию срезаемого слоя, трение стружки о переднюю поверхность инструмента и трение задней поверхности резца о поверхность резания. Исследованиями установлено, что больше всего выделяется теплоты в результате деформации срезаемого слоя (рис. 221).

Установлено, что в среднем при токарной обработке 60—86% всей выделяющейся теплоты уходит в стружку, 4—10% — в резец, 9—13% — в обрабатываемую заготовку и около 1% — в окружающую среду. При увеличении скорости резания количество остающейся в стружке теплоты значительно увеличивается, а поступление ее в резец и обрабатываемую деталь соответственно уменьшается. При скоростях резания около 100 м/мин (1,5 м/с) в стружке остается около 80% теплоты, а при скоростях порядка 500 м/мин (8 м/с) стружкой уносится 97—99% и только 1—3% теплоты поступает в резец, обрабатываемую деталь и окружающий воздух.

Больше всего на температуру в зоне резания влияет скорость резания. Поэтому при больших скоростях резания, хотя доля поступления теплоты в инструмент и уменьшается, общее количество ее настолько велико, что по сравнению с нормальными скоростями резания в значительной степени повышаются как температура стружки, так и температура резца.

На температуру резания оказывает также влияние подача, глубина резания, геометрия режущей части резца и его размеры. Нагрев режущего инструмента и обрабатываемой заготовки в ряде случаев, оказывает большое влияние на точность обработки, в частности на точность размеров обрабатываемой поверхности и точность их геометрических форм.

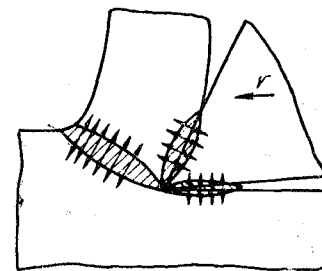


Рис. 221. Расположение очагов образования теплоты и ее распределение

4. ОХЛАЖДЕНИЕ И СМАЗКА ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

При резании металлов смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) уменьшают трение между резцом и сходящей стружкой, резцом и заготовкой, оказывая смазочное действие; снижают работу, затраченную на пластическое деформирование металла; отводят тепло из зоны резания, охлаждая инструмент и деталь; препятствуют появлению налипov на трущихся рабочих поверхностях инструмента.

Это приводит к уменьшению силы резания, улучшению качества обработанной поверхности, увеличению стойкости инструмента.

В зависимости от состава СОЖ разделяются на две группы. Первая группа жидкостей предназначена в основном для охлаждения инструмента при обдирочных работах, увеличения его стойкости или повышения скорости резания. К ним относятся водные растворы минеральных электролитов (кальцинированная сода, нитрит натрия, жидкое стекло, антикоррозионные добавки и т. д.) и водные эмульсии (водные растворы эмульсолов, состоящие из коллоидных растворов органических кислот в минеральных маслах с антикоррозионными добавками). Вторая группа жидкостей оказывает в основном смазывающее действие. Эти жидкости обладают высокой маслянистостью и применяются при чистовых и отделочных работах, когда требуется высокое качество обработанной поверхности.

К ним относятся минеральные, растительные, животные масла, смеси минеральных масел с растительными, осерненные масла (сульфозрезолы) и др.

Эффективность применения охлаждения зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, смазочно-охлаждающей жидкости, интенсивности охлаждения (количество подводимой жидкости в минуту) и от способа ее подвода к зоне резания.

При обильном охлаждении с интенсивностью 8—12 л/мин (0,13—0,2 л/с) при точении стали резцами из быстрорежущей стали допускается повышение скорости резания на 20—25%, при точении чугуна на 12—15% (при обработке чугуна на износ резца влияет главным образом механическое истирание, а не высокая темпера-

тура резания). Эффективность охлаждения зависит не только от состава и свойств жидкости, но и от способа ее подвода к зоне резания.

В настоящее время применяются следующие способы охлаждения: свободно падающей струей (рис. 222, а), высоконапорное охлаждение, охлаждение воздушной эмульсией и распыленной жидкостью.

Охлаждение свободно падающей жидкостью — наиболее распространенный способ охлаждения. Жидкость

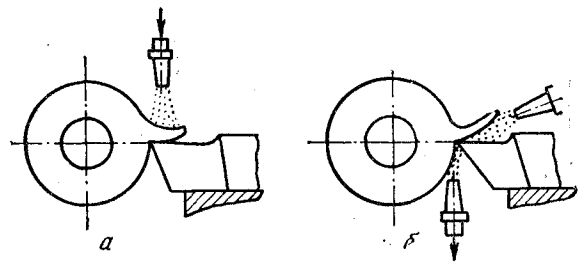


Рис. 222. Схемы подвода смазывающе-охлаждающей жидкости поливом (а) и высоконапорной струей (б) в зону резания

насосом подается на стружку в месте ее отделения от детали (при точении) или же на вращающийся инструмент (при фрезеровании); попадая в зону резания, она охлаждает стружку, инструмент и обрабатываемую деталь и понижает температуру в зоне резания на 50—100° С. Стойкость инструмента в зависимости от материала детали и скорости резания повышается в 2—4 раза.

Из-за малой скорости подачи жидкости (0,2—1,5 л/с) интенсивность охлаждения при этом способе сравнительно небольшая, однако ввиду простоты он имеет самое широкое распространение.

Высоконапорное охлаждение (рис. 222, б) находит применение при обработке труднообрабатываемых сталей. Смазочно-охлаждающая жидкость под большим давлением (15—20 кгс/см²) подводится к режущей кромке резца снизу со стороны его задней поверхности через узкую щель шланга. При высоконапорном охлаждении наблюдается значительное повышение стойкости резца по сравнению с обычным методом охлаждения.

5. СИЛЫ РЕЗАНИЯ И МОЩНОСТЬ ПРИ ТОЧЕНИИ

Сопротивление металлов резанию преодолевается силой резания. Работа силы резания затрачивается на упруго-пластическую деформацию металла и отрыв элемента стружки от основной массы металла, а также преодоление трения на контактных поверхностях режущего инструмента.

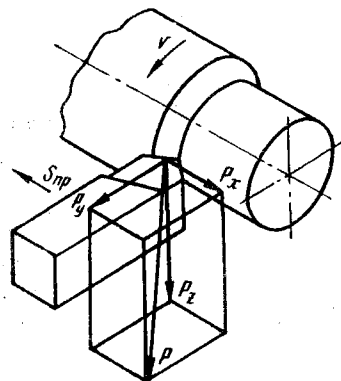


Рис. 223. Силы резания при точении

Сведения о силах резания необходимы для расчета на прочность элементов металлорежущих станков, режущих инструментов, а также при выборе режимов резания, обеспечивающих заданную точность формы и размеров обрабатываемой заготовки. В общем случае сила резания представляет собой равнодействующую сил нормального давления и сил трения,

приложенных к рабочим поверхностям режущего инструмента.

Для решения практических задач равнодействующую силу резания P заменяют ее составляющими, как это показано на рис. 223 для случая точения. Направление составляющих сил выбрано не случайно. Оно совпадает с движениями, совершаемыми на станке.

Сила резания P_z — главная составляющая сила резания — направлена вертикально и совпадает с направлением главного движения. Она стремится отжать резец вниз. По ней рассчитывается эффективная мощность резания.

Зная P_z , определяют эффективную мощность резания по формуле

$$N_e = \frac{P_z v}{60 \cdot 120}$$

Зная коэффициент полезного действия станка η , можно определить мощность электродвигателя привода главного движения

$$N_s = \frac{N_e}{\eta}$$

Крутящий момент на обрабатываемой заготовке определяется по формуле

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2},$$

где D — диаметр обрабатываемой детали.

Момент резания воспринимается механизмом главного вращательного движения станка и используется при расчете этого механизма на прочность.

Радиальная сила P_y расположена в горизонтальной плоскости, направлена перпендикулярно к оси обрабатываемой детали. Вместе с силой P_z сила P_y изгибает изделие и инструмент и нагружает механизм поперечной подачи и используется при расчете его на прочность.

Сила P_x — осевая составляющая — расположена в горизонтальной плоскости и направлена в сторону, противоположную продольной подаче. По ней рассчитывается механизм продольной подачи станка — коробка подач и фартук станка.

Силы резания существенно зависят от условий резания и физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

На практике силы резания определяют экспериментально или рассчитывают по эмпирической формуле:

$$P_z = C_p t^X s^Y v^p,$$

где C_p — коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов;

t — глубина резания, мм;

s — подача, мм/об.

Значение C_p и показателей степеней X_p и Y_p приводятся в справочниках НИБТН.

Силы резания зависят от размера срезаемого слоя, определяемого подачей и глубиной резания, с их увеличением силы резания возрастают в зависимости от

геометрии режущей части инструмента. С увеличением угла резания δ все три составляющие силы возрастают. Более интенсивно растут силы P_y и P_x .

С увеличением главного удара в плане ϕ до 60% сила резания уменьшается, а при дальнейшем увеличении его — несколько возрастает. Сила P_x растет, а сила P_y уменьшается с увеличением главного угла в плане ϕ . Силы P_z и P_y возрастают с увеличением радиуса закругления режущего лезвия. По мере износа реза силы резания возрастают, особенно P_y и P_x .

Применение смазывающе-охлаждающих жидкостей позволяет уменьшить силы резания на 15—25%.

6. ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Износ режущей части инструмента является сложным процессом, состоящим из нескольких самостоятельных, каждый из которых может определять общую интенсивность и характер износа. В зависимости от того, какой вид износа является преобладающим, следует предъявлять различные требования к свойствам материала инструмента. В технической литературе рассматривают виды износа с позиций — физико-химических и геометрических (размерный износ). В первом случае различают следующие виды износа:

Абразивный износ — результат истирания, скалывания, срезания и смятия неровностей на контактных поверхностях режущего инструмента при относительном движении. Этот вид износа преобладает при обработке хрупких материалов, а также материалов с твердыми составляющими структуры.

Адгезионный износ заключается в непрерывно повторяющихся процессах схватывания и отрыва мельчайших частиц материала инструмента.

Диффузионный износ наблюдается при обработке металлов и сплавов, например твердосплавным инструментом на высоких скоростях резания. Он происходит при температурах контактных поверхностей, превышающих температуру рекристаллизации обрабатываемого и инструментального материалов. При этом происходит взаимная диффузия элементов контактирующей пары.

В результате диффузии происходит науглероживание — графитизация твердого сплава и понижение его

механической прочности, что ускоряет его хрупкое разрушение.

Хрупкий износ заключается в скалывании, выкрошивании частиц инструментального материала; частицы привариваются и уносятся стружкой или обрабатываемым материалом.

Этот вид износа наблюдается при прерывистых процессах резания, когда циклически возникающие температуры и контактные напряжения создают динамическую нагрузку. Инструменты, работающие на малых скоростях резания (сверла, зенкеры, метчики, развертки, протяжки и др.), изнашиваются преимущественно за счет истирания в результате одновременного воздействия адгезионного и абразивного износа. Интенсивность износа определяется отношением твердостей материала инструмента и заготовки при реальных температурах резания. Интенсивность износа твердосплавных инструментов при высоких скоростях резания определяется главным образом взаимным диффузионным взаимодействием, которое обусловлено наличием адгезии и хрупкого износа.

Общий характер износа резца показан на рис. 224, из которого следует, что износ инструмента по главной задней поверхности h_z приводит к образованию площадки с задним углом, равным нулю, а на передней поверхности — углубления в виде лунки.

Допустимой величиной износа называется такая величина ширины площадки h_z , при которой дальнейшая работа инструмента должна быть прекращена вследствие возрастания усилия резания, ухудшения чистоты обработанной поверхности или отклонения размеров детали от заданных.

Для оценки степени износа инструмента и своевременной смены затупившегося инструмента существуют критерии. За основной критерий износа принимают ширину изношенной площадки инструмента по главной задней поверхности.

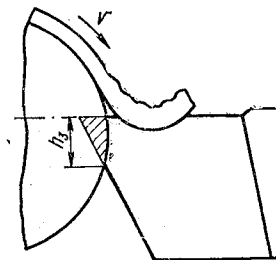


Рис. 224. Износ токарного резца

Стойкость инструментов. Под стойкостью инструментов понимается время непрерывной работы его при постоянных режимах до затупления или до заданной величины износа. На стойкость инструмента оказывают влияние скорость резания, физико-механические свойства обрабатываемого материала и инструмента, глубина резания и подача, геометрические параметры режущей части инструмента, смазочно-охлаждающая жидкость и т. д.

Связь между стойкостью T и скоростью резания v выражается зависимостью

$$v = \frac{C}{T^m},$$

где C — коэффициент, зависящий от материала инструмента и обрабатываемой детали, глубины резания, подачи и других факторов;

m — показатель относительной стойкости, зависящей от материала обрабатываемой детали и инструмента, толщины среза, вида и условий обработки.

Для проходных резцов, подрезных и расточных резцов из быстрорежущей стали $m=0,125$ при обработке стали и чугуна; для резцов, оснащенных пластинками твердого сплава, $m=0,125 \div 0,3$ ($m_{\text{ср}}=0,2$).

Стойкость инструмента, соответствующая определенной величине износа в направлении измерения размера обрабатываемой поверхности: в радиальном — для резцов, сверл, разверток, протяжек и в осевом — для торцовых и концевых фрез, называется размерной стойкостью инструмента. Период размерной стойкости инструмента особенно важен при обработке деталей на автоматах и автоматических линиях.

7. ВЫБОР РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

Скорость резания оказывает наибольшее влияние на стойкость инструмента. Поэтому при назначении режима резания ее выбирают последней и такой, чтобы стойкость инструмента была близка к оптимальной.

Выбор режима резания производят в следующей последовательности.

После того как определены оптимальная геометрия инструмента и его материал, выбирают режим резания. Величины v , s и t назначают такими, чтобы наиболее полно использовать свойства инструмента и возможности металлорежущего станка.

Вначале задаются глубиной резания, так как она меньше всего влияет на стойкость инструмента. При выборе глубины резания стремятся снять припуск на обработку за один проход, оставляя лишь небольшую часть его для последующей чистовой обработки.

Далее выбирают подачу, также стремясь принять ее возможно большей с учетом технологических ограничений: чистоты обработанной поверхности, прочности и жесткости заготовки и инструмента.

Далее при принятой глубине резания и подаче, заданной стойкости и прочих условиях резания определяют скорость резания по расчетным эмпирическим формулам. По полученному значению скорости резания определяют необходимое число оборотов шпинделя станка.

В практике машиностроения определены оптимальные (экономически целесообразные) стойкости инструмента, исходя из которых рассчитывают (находят по таблицам) оптимальную скорость резания:

$$v = \frac{C_v}{T^m X_v Y_v} R_v \text{ м/мин,}$$

где C_v , X_v , Y_v , R_v — соответствующие коэффициенты, учитывающие обрабатываемый материал, материал инструмента и другие факторы;

m — показатель относительной стойкости.

Значения этих коэффициентов приводятся в справочных таблицах.

Оптимальная стойкость токарных резцов 30—90 мин (в зависимости от вида работ и материала резца), мелких сверл 10—30 мин, фрез — 300—420 мин.

Производительность труда при работе на металлорежущих станках тем выше, чем меньше штучное время обработки одной детали $T_{\text{шт}}$:

$$T_{\text{шт}} = T_0 + T_v + T_{\text{обсл}} + T_{\text{отд}}$$

где $T_0 = T_m$ — основное, или машинное время, в течение которого происходит изменение формы или физического состояния детали;
 T_v — вспомогательное, или ручное время на установку и снятие детали, подвод и отвод инструмента, управление станком и другие манипуляции;
 $T_{\text{обсл}}$ — время обслуживания — время на смену инструмента, подготовку и уборку станка и т. п., отнесенное к одной детали;
 $T_{\text{отд}}$ — время на отдых и естественные потребности.

Величину T_m можно найти по формуле

$$T_m = \frac{Li}{nS}$$

где L — длина прохода инструмента, равная сумме пути врезания l_1 , пути обработки l_2 и длины перебега l_3 ;
 i — число проходов.

Из приведенной формулы вытекают четыре основных направления увеличения производительности труда: 1) разделение пути L между несколькими инструментами, т. е. применение многоинструментальной наладки или многолезцовых станков; 2) уменьшение числа проходов i , т. е. применение заготовок с минимальными припусками на обработку; 3) увеличение числа оборотов n , т. е. скорости резания. Этот путь возможен при применении более совершенных марок инструментального материала, в некоторых случаях также при улучшении геометрии резца; 4) увеличение подачи s также за счет рационализации геометрии.

Увеличение скорости резания. Производительность процесса резания зависит прежде всего от режима резания, т. е. скорости, подачи и глубины резания. Увеличение глубины резания ограничено припуском на обработку, который по мере совершенствования заготовительных операций непрерывно уменьшается.

Увеличение подачи ограничено требованиями к точности формы и размеров изделия, чистоты обработанной поверхности.

С увеличением скорости резания точность формы и чистота обработанной поверхности улучшаются, но резко снижается стойкость инструмента.

Чтобы стойкость инструмента оставалась неизменной при увеличении скорости резания, используют прежде всего современные, износостойкие материалы, применяют режущий инструмент с рациональной геометрией, а также эффективные смазывающе-охлаждающие жидкости.

Использование твердосплавных, минералокерамических и алмазных инструментов позволяет значительно увеличивать скорости резания, а тем самым и производительность процесса обработки.

Форма режущей части инструмента не только обеспечивает его механическую прочность, теплостойкость, но и влияет на условия процесса резания: степень пластической деформации срезаемого слоя, количества образующейся теплоты, условия ее отвода, силы резания. Указанные факторы часто оказывают противоречивое действие на процесс резания. Так, уменьшение переднего угла делает режущую часть резца более массивной, но при этом одновременно увеличиваются силы резания, так как затрудняется процесс образования стружки, выделяется большое количество теплоты, интенсивность износа резца возрастает, стойкость снижается. Увеличение переднего угла облегчает процесс резания, но ухудшает условия отвода тепла, уменьшает прочность его режущей части; при этом стойкость резца также уменьшается.

Несколько иначе влияет на стойкость режущего инструмента главный угол в плане ϕ , с его увеличением стойкость значительно снижается. Так, если у резца увеличить главный угол в плане от 30° до 60° , стойкость его уменьшается приблизительно в пять раз (для твердосплавных инструментов).

Однако работа с малыми углами в плане возможна только при достаточно жесткой системе станок — инструмент — деталь, так как с уменьшением этого угла возрастают силы P_z и P_y , изгибающие резец и заготовку, повышается вероятность возникновения вибраций.

Рекомендации по выбору оптимальной марки материала инструмента и геометрии инструмента можно найти в справочниках.

Повышение чистоты обработанной поверхности. Причиной образования шероховатостей на обработанной поверхности является прежде всего сложное относительное движение инструмента и заготовки, а также наличие углов в плане у режущего инструмента. В результате на обработанной поверхности остаются неровности, величина и форма которых зависят от условий резания.

Для того чтобы с ростом подачи высота шероховатостей не увеличивалась, необходимо либо увеличивать радиус закругления вершины резца, либо уменьшать углы резца в плане. В практике применяют резцы с большими радиусами закругления или углами в плане, равными нулю. При сравнительно жесткой системе станок—инструмент—приспособление — деталь использование таких резцов позволяет увеличивать подачу в несколько раз без существенного увеличения высоты шероховатостей. Применение широких резцов с $\varphi=0^\circ$ при окончательной обработке позволило увеличить подачу в 10—20 раз.

Улучшение обрабатываемости сталей и сплавов. Увеличение рабочих параметров машин (давлений, температур, скоростей) привело к появлению новых конструкционных материалов, нержавеющей, жаропрочных сталей и сплавов и др. Обработка резанием многих из этих материалов весьма затруднительна.

Для облегчения процесса резания прежде всего применяют термическую обработку — отжиг или отпуск. Однако этот метод улучшения обрабатываемости не всегда удобен.

Более радикальным средством является выбор оптимальной марки материала инструмента. Так, при обработке жаропрочных сталей большой эффект был достигнут за счет использования кобальтовых быстрорежущих сталей и танталтитановых твердых сплавов.

Значительное влияние на улучшение обрабатываемости оказывает выбор оптимального сочетания элементов геометрии инструмента, параметров режима резания, применение более современных смазывающе-охлаждающих жидкостей, способов их подвода в зону резания. В последние годы для улучшения обрабатываемости используют микролегирование. В обрабатываемый материал добавляют десятые доли процента редкоземельных элементов, таких как селен, теллур. Обрабатываемость

прочных сталей можно улучшить дополнительным подогревом зоны резания. При этом облегчается процесс пластической деформации, улучшаются условия трения на режущих поверхностях инструмента. Чаще всего используют электрические методы подогрева: индукционный — токами высокой или промышленной частоты, электроконтактный и др.

В случае электроконтактного подогрева к заготовке и инструменту подводят переменный ток низкого напряжения и большой силы (до 50—100 А на 1 мм длины режущего лезвия). Локальный подогрев металла перед режущим лезвием инструмента на небольшую глубину особенно удобен при чистовой обработке, так как он не изменяет свойств металла.

При предварительной черновой обработке применяют подогрев газовой горелкой, плазменной струей. В последнем случае металл не только подогревается, но и частично выплавляется и выдувается из зоны резания.

Глава IV

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, НОМИНАЛЬНЫЕ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ ДЕТАЛЕЙ

В современном машиностроении различные машины во многих случаях изготавливают поточно-массовым методом без дополнительной слесарной обработки деталей.

Замена деталей или узлов машин при сборке и ремонте без дополнительной слесарной обработки обеспечивается благодаря их взаимозаменяемости. Взаимозаменяемость однотипных деталей достигается установлением допустимых отклонений фактических размеров от номинальных.

Номинальными называют основные размеры, являющиеся общими для соединяемых деталей и служащие началом отсчета отклонений. Так, диаметр вала и диаметр отверстия подшипника, в котором вращается вал, имеют одинаковый номинальный размер. Номинальные размеры определяют, исходя из назначения детали, конструктивных соображений, расчетов на прочность, опытных данных.

Округление номинальных размеров имеет большое экономическое значение, так как ограничивает их разнообразие и общее число в каком-либо диапазоне. Округление ряда номинальных линейных размеров в интервале 0,001—10 000 мм производится по ГОСТу. Так, для номинальных линейных размеров общего назначения в интервале 1—1000 мм установлено 124 размера.

При обработке заготовок на станках неизбежны отклонения в размерах деталей вследствие определенной неточности станка, упругой деформации приспособлений и режущего инструмента, колебания температуры заготовки и инструмента, различной квалификации рабочих и т. д. Кроме того, не всегда требуется максимальная точность размера детали. Поэтому для обеспечения взаимозаменяемости назначают два предельных размера детали — наибольший и наименьший допустимые размеры, за которые нельзя выходить и между которыми должен находиться фактический размер.

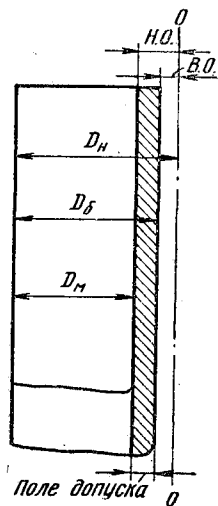


Рис. 225. Допуск и поле допуска вала

1. ДОПУСКИ И ПРИПУСКИ

Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами детали называют допуском размера. Номинальный размер D_n обозначают нулевой линией $0-0$, от которой производят отсчет отклонений. На рис. 225 отсчет отклонения выполнен в минусовую сторону от номинального размера.

Разность между наибольшим предельным D_b и номинальным D_n размерами называют верхним или положительным отклонением (В. О.), а между наименьшим предельным D_m и номинальным D_n размерами — нижним или отрицательным отклонением (Н. О.). Следовательно, действительный размер D находится между наибольшим D_b и наименьшим D_m предельными размерами и в частном случае может быть равен одному

из них. Зону между верхним и нижним предельным отклонениями называют полем допуска.

Отклонения обычно указывают справа от номинального размера, например $50_{-0,05}^{+0,02}$. Это означает, что размеры детали могут быть в пределах 49,98—49,95 мм.

Для получения детали заготовка должна иметь определенный излишек металла, который называют припуском на обработку. Чем меньше припуск, тем меньше стоимость обработки и расход металла на единицу изделия.

2. СИСТЕМА ВАЛА И СИСТЕМА ОТВЕРСТИЯ

В машиностроении различают размеры сопрягаемые и свободные. Примером сопрягаемых размеров может быть наружный диаметр поршня и внутренний диаметр цилиндра. Цилиндрическая поверхность поршня является типовой охватываемой поверхностью вала, а внут-

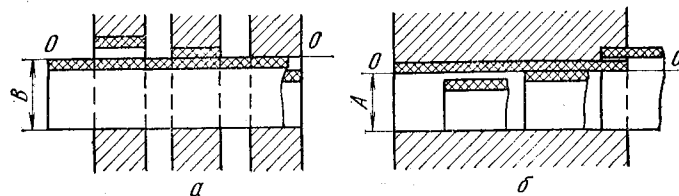


Рис. 226. Система допусков

ренняя поверхность цилиндра — типовой охватывающей поверхностью отверстия.

Для краткости любую охватываемую поверхность сопрягаемых деталей называют валом, а охватывающую — отверстием. Например, шпонка является валом, а паз — отверстием.

Примером свободных размеров может быть длина втулки контейнера гидравлического пресса, наружный диаметр фланца, диаметр заклепочной головки и т. п.

Систему допусков, в которой приняты постоянными предельные размеры вала, называют системой вала (рис. 226, а). На чертежах поле допуска вала в системе вала обозначается буквой V с индексом класса точности

обработки и записывают справа от номинального размера, например 50 В₃.

Систему допусков, в которой приняты постоянными предельные размеры отверстия, называют системой отверстия (рис. 226, б). На чертежах поле допуска отверстия в системе отверстия обозначается буквой А с индексом класса точности обработки и записывается справа от номинального размера, например 50 А₃.

3. ПОСАДКИ

Характер сопряжения определяется посадкой, под которой понимают степень сопротивления взаимному смещению сопрягаемых деталей или свободу их относительного перемещения. Посадки создаются разностью размеров парных деталей (вала и отверстия).

Различают три основных типа посадок: 1) с зазором или подвижные, 2) переходные и 3) с натягом или неподвижные (прессовые).

При подвижной посадке сопряженные детали перемещаются во время работы, например, поршень перемещается в цилиндре благодаря тому, что диаметр цилиндра несколько больше диаметра поршня. Разность между диаметрами цилиндра и поршня (в общем случае между диаметрами отверстия и вала) называют зазором. Например, при диаметре отверстия 50 мм и диаметре вала 49,8 мм зазор равен 0,2 мм. Из этого следует, что зазор всегда является положительной величиной.

Типы подвижных посадок: скользящая С, движения Д, ходовая Х, легкоходовая Л, широкоходовая Ш и теплоходовая ТХ.

При неподвижной посадке сопряженные детали имеют натяг, вследствие чего во время работы перемещение исключается. Неподвижные посадки обеспечиваются принудительной запрессовкой вала в отверстие. При неподвижной посадке диаметр вала до запрессовки должен быть несколько больше диаметра отверстия. Разность между диаметрами вала и отверстия называют натягом. При неподвижной посадке натяг является положительной величиной.

Типы неподвижных прессовых посадок (с натягом): горячая Гр, прессовая Пр1, Пр2, Пр3, легкопрессовая Пл.

При переходных посадках обеспечивается хорошее

центрирование отверстий. В местах соединений образуется натяг, или зазор. Неподвижность сопрягаемых деталей обычно обеспечивается при помощи крепежных элементов (шпонок, шплинтов и т. д.). Разность между диаметрами вала и отверстия незначительна, вследствие этого натяги или зазоры невелики. Типы переходных посадок: глухая Г, тугая Т, напряженная Н, плотная П.

На чертежах такие посадки условно обозначают соответствующей буквой и индексом справа, указывающим класс точности, например легкоходовую посадку 4-го класса точности обозначают Л₄. Основные определения допусков и посадок, применяемые в машиностроении, установлены ГОСТом.

4. ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЧИСТОТА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Точность изготовления. Под точностью изготовления в машиностроении понимают степень соответствия действительных размеров детали расчетным (номинальным) размерам, заданным по чертежу. Увеличение точности изготовления детали приводит к удорожанию обработки, снижению производительности станка и т. д.

В машиностроении применяют 10 классов точности — 1, 2, 2а, 3, 3а, 4, 5, 7, 8, 9. Каждый класс точности характеризуется определенными допусками для вала и отверстия и обеспечивается различными способами обработки резанием:

1 — тонким шлифованием, тонким полированием, притиркой и доводкой; применяют в приборостроении, точном станкостроении, при изготовлении деталей шарикоподшипников и т. д.;

2 и 2а — чистовым шлифованием, алмазным точением, чистовым протягиванием, зернированием и развертыванием; применяют в точном машиностроении, станкостроении, при изготовлении автомобильных, авиационных двигателей, электромоторов, пневматических и других машин;

3 и 3а — чистовым шлифованием и точением, тонким фрезерованием и строганием; применяют в общем машиностроении, автотракторостроении, вагоностроении, дизельостроении, при производстве паровых машин и турбин;

4 — чистовым точением, строганием, фрезерованием, сверлением и зенкерованием; используются в тепловозостроении, машиностроении;

5 — полочистым точением, строганием, фрезерованием и сверлением: применяют в машиностроении, где не предъявляют высоких требований к парным деталям; 7, 8 и 9 — литьем, ковкой и прокаткой, грубой обдиркой на станках; применяют для свободных размеров деталей или заготовок с соответствующими припусками на последующую чистовую обработку на станках.

Степень точности измерений зависит от точности и чувствительности измерительного инструмента, принятого метода измерения и квалификации рабочего. Установлено, что наибольшая цена деления измерительного инструмента должна быть примерно в три раза меньше допуска. Так, при шлифовании вала с допуском 0,03 мм наибольшая цена деления инструмента должна быть не более 0,01 мм; в этом случае обычно пользуются микрометром.

Большое влияние на точность измерения оказывают температура детали и давление измерительного инструмента на деталь. Все измерения следует производить при одинаковой температуре и одинаковом давлении инструмента. Некоторые инструменты имеют специальные устройства, ограничивающие давление на деталь (например, трещотка у микрометра).

Чистота поверхности. На поверхности деталей инструмент оставляет неровности в виде впадин и гребней, которые после черновой обработки видны невооруженным глазом, а после чистовой — при увеличении под микроскопом. Гребни и впадины называют микронеровностями поверхности детали или шероховатостью, характеризующей чистоту поверхности.

Чистота поверхности зависит от свойств обрабатываемого металла, инструмента, режима резания, применяемых смазочно-охлаждающих жидкостей, способа и вида обработки.

Шероховатость поверхности представляет собой совокупность неровностей, образующих рельеф поверхности деталей в пределах рассматриваемого участка, длина которого выбирается в зависимости от характера поверхности и равна базовой длине. Для характеристики шероховатости установлены следующие понятия.

Геометрическая поверхность — поверхность тела заданной геометрической формы, не имеющая неровностей и отклонений от плоской или иной формы, обозначенной на чертеже (рис. 227, а).

Реальная поверхность — поверхность, которая ограничивает тело и отделяет его от окружающей среды.

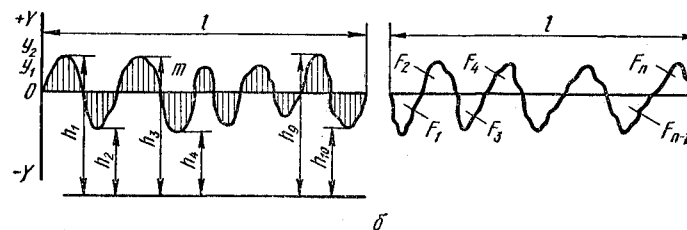
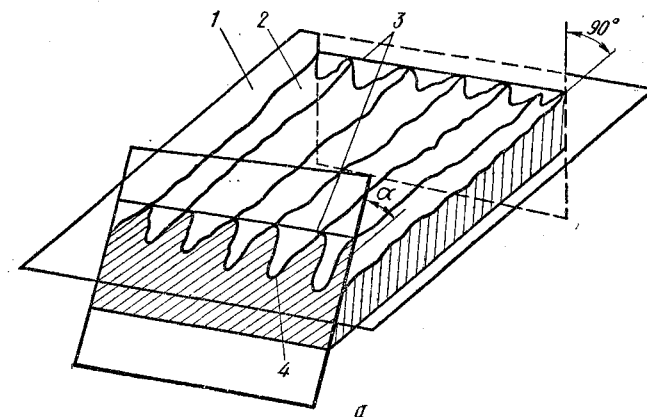


Рис. 227. Профиль микронеровностей поверхности детали:

1 — геометрическая поверхность; 2 — измеренная поверхность; 3 — геометрический профиль; 4 — измеренный профиль

Неровности — выступы и впадины на реальной поверхности.

Измеренная поверхность — поверхность, воспроизведенная в результате измерения реальной поверхности с учетом ее выступов и впадин.

Геометрический профиль — сечение геометрической поверхности плоскостью, ориентированной в заданном

направлении относительно этой (геометрической) поверхности.

Измеренный профиль — сечение измеренной поверхности плоскостью, которая ориентирована относительно геометрической поверхности под заданным углом d . Графическое изображение измеренного профиля называют профилограммой.

Шаг неровностей — расстояние между вершинами характерных неровностей измеренного профиля.

Базовая длина — длина участка поверхности, выбираемая для измерения шероховатости поверхности без учета других видов неровностей (например, волнистости), имеющих шаг более L (рис. 227, б).

Средняя линия профиля — линия, имеющая форму геометрического профиля; она является базой для определения значений шероховатости. Средняя линия должна делить измеряемый профиль так, чтобы в пределах базовой длины площади по обеим сторонам от средней линии до линии профиля были равны между собой, т. е.

$$F_1 + F_3 + \dots + F_{n-1} = F_2 + F_4 + \dots + F_n.$$

В соответствии с ГОСТом шероховатость поверхности определяется средним арифметическим отклонением

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i)}{n}$$

или высотой неровностей

$$R_z = \frac{(h_1 + h_2 + \dots + h_9) - (h_2 + h_4 + \dots + h_{10})}{5}.$$

По ГОСТу различают 14 классов чистоты поверхности, из которых 1-й класс является наиболее грубым. Класс чистоты поверхности обозначают треугольником с номером класса, например $\nabla 1$; $\nabla 5$.

Шероховатость поверхности грубее 1-го класса обозначают знаком ∇ , над которым указывают высоту неровностей R_z в микронах, например ∇_{500} , ∇_{800} .

Для каждого класса чистоты поверхности установлены максимальные значения R_a и R_z при выбранных базовых длинах L . Например, для класса $\nabla 3$ величина $R_a = 20$ мкм, $R_z = 80$ мкм при базовой длине $L = 8$ мм.

Для 6—12-го классов чистоты поверхности основной характеристикой шероховатости является R_a , а для классов 1—5, 13 и 14-го R_z .

Для оценки чистоты поверхности и измерения ее шероховатости применяют эталоны чистоты поверхности и различные приборы.

Глава V

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Классификация станков. Большое разнообразие обрабатываемых деталей и применяемых методов обработки предопределило наличие множества типов и моделей станков. По степени универсальности различают: 1) универсальные станки, предназначенные для выполнения разнообразных операций при обработке различных деталей (токарно-винторезные, револьверные, карусельные и т. д.); 2) специализированные станки, предназначенные для обработки деталей одного наименования и разных размеров (подшипников, инструментов и т. д.); 3) специальные, предназначенные для обработки определенной детали.

По степени точности различают станки нормальной точности и высокоточные (прецизионные). По массе различают станки нормальной массы (до 10 т), тяжелые (10—100 т) и особо тяжелые (свыше 100 т).

Для обозначения типов и моделей станков в нашей стране принята разработанная Экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков [ЭНИМС] система, по которой все станки разбиваются на 9 групп и 9 типов (табл. 9).

Различные модели станков обозначаются тремя или четырьмя цифрами. Первые две цифры обозначают группу и тип станка, третья и четвертая характеризуют один из основных параметров станка — высоту центров для токарных станков, диаметр сверления для сверлильных и т. п. Например, шифр 2150 обозначает вертикально-

Таблица 9

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Наименование станков	Группа станков	Типы станков			
		1	2	3	4
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы		Револьверные	Сверлильно-отрезные
		одношпиндельные	многшпиндельные		
Сверлильные и расточные	2	Вертикально-сверлильные	Одношпиндельные полуавтоматы	Многшпиндельные полуавтоматы	Координатно-расточные
Шлифовальные и полировальные	3	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные для валов
Комбинированные	4	—	—	—	—

Зубо-и резьбо-обрабатывающие	5	Зубострогальные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные для цилиндрических колес и шлицевых валиков	Зубофрезерные для нарезания червячных колес
Фрезерные	6	Вертикально фрезерные консольные	Фрезерные непрерывного действия	—	Копировальные и гравировальные
Строгальные, долбежные и протяжные	7	Продольно-строгальные одностоечные	Продольно-строгальные двухстоечные	Поперечно-строгальные	Долбежные
Разрезные	8	Отрезные, работающие резцом	Отрезные, работающие шлифовальным кругом	Отрезные, работающие гладким или насеченным диском	Правильно-отрезные
Разные	9	Муфто- и трубообрабатывающие	Пилонасекательные	Бесцентровообдирочные	Правильные бесцентровообдирочные

Наименование станков	Группа станков	Типы станков				
		5	6	7	8	9
Токарные	1	Карусельные	Токарные и лобовые	Многорезцовые	Специализированные для фасонных изделий	Разные токарные
Сверлильные и расточные	2	Радиально-сверлильные	Расточные	Алмазно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
Шлифовальные и полировальные	3	—	Заточные	Плоскошлифовальные с прямоугольным или круглым столом	Притирочные и полировальные	Разные станки, работающие абразивом
Комбинированные	4	—	—	—	—	—

Зубо- и резьбо-обработывающие	5	Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообработывающие
Фрезерные	6	Вертикальные бесконсольные	Продольные	Широкоуниверсальные	Горизонтально-фрезерные консольные	Разные фрезерные
Строгальные, долбежные и протяжные	7	Протяжные горизонтальные	—	Протяжные вертикальные	—	Разные строгальные
Разрезные	8	Ленточные	Пилы с дисковой пилой	Ножовки	—	—
Разные	9	Для испытания инструментов	Делительные машины	Балансировочные	—	—

сверлильный станок с максимальным диаметром сверления 50 мм.

Буква, стоящая после первой цифры, обычно указывает на модернизацию базовой модели. Например, после модернизации вертикально-сверлильному станку присвоен номер 2А150.

Модификацию (видоизменение) базовой модели обозначают буквой в конце шифра. Так, на базе вертикально-фрезерного станка 6Н12 выпускают его модификацию 6Н12К — копировально-фрезерный.

Специальные станки обозначаются двумя буквами, присвоенными каждому из станкостроительных заводов, и последующими цифрами, характеризующими порядковый номер модели станка. Например, шифром МП-30 обозначен специальный вертикально-протяжной станок.

2. ТИПЫ ПРИВодОВ

Приводом называется совокупность механизмов, передающих движение от источника движения к тому или иному органу станка.

В современных станках применяется индивидуальный привод, при котором приемный вал станка получает движение от отдельного электродвигателя. Индивидуальные приводы бывают с отдельным электродвигателем, передающим движение приводному валу посредством ременной или цепной передачи, с фланцевым электродвигателем и со встроенным электродвигателем, вал которого является шпинделем станка.

В металлорежущих станках преобладают приводы со ступенчатым регулированием чисел оборотов шпинделя в виде коробок скоростей с зубчатыми передачами. Применяются также приводы с бесступенчатым регулированием: механические, гидравлические и электрические.

Механическое бесступенчатое регулирование обычно осуществляется фрикционными бесступенчатыми вариаторами. Вариатор В. А. Светозарова (рис. 228, а) состоит из двух стальных чашек 3 и 7, рабочие поверхности которых образованы как поверхности вращения дуги окружности вокруг оси I—II (торцовые поверхности). Между чашками установлены стальные ролики 6, свободно вращающиеся на осях 5, которые могут поворачиваться относительно центров O_1 и O_2 с одинаковым на-

клоном. Поворот осей 5 осуществляется вращением цилиндрических барабанов 4.

Шпиндель III станка получает вращение от электродвигателя 1 через шариковую муфту 2, ведущую чашку 3, ролики 6, ведомую чашку 7, шариковую муфту 8 и клиноременную передачу 9. Изменяя положение роликов по отношению к торцовым поверхностям чашек 3 и 7, можно получить плавное изменение чисел оборотов шпинде-

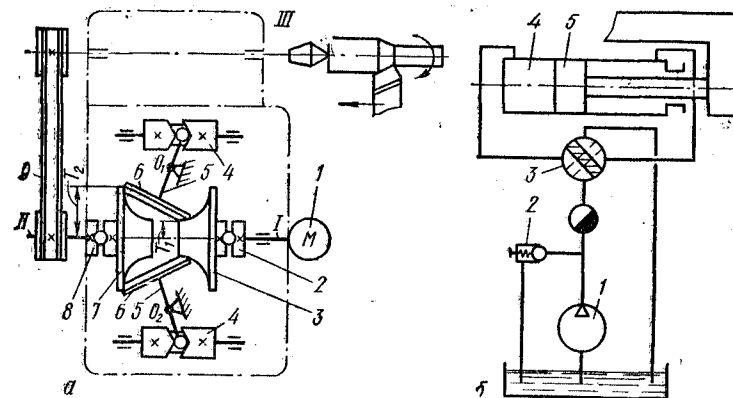


Рис. 228. Приводы бесступенчатого регулирования

ля между предельными значениями. Прижим чашек к роликам обеспечивается распорными пружинами.

Гидравлическое бесступенчатое регулирование осуществляется гидравлическими приводами. Наибольшее распространение в металлорежущих станках получили гидроприводы возвратно-поступательного движения (рис. 228, б).

Насос 1 подает масло в распределительное устройство 3 и цилиндр 4 через дроссель, регулирующий количество поступающего масла. При установке устройства 3 в положение, изображенное сплошными линиями, масло направляется в левую полость рабочего цилиндра 4, поршень 5 со штоком и столом перемещается вправо, перегоняя масло из правой части цилиндра в бак. При установке распределительного устройства 3 в положение, показанное пунктиром, масло от насоса поступает в правую полость цилиндра, а из левой вытекает в бак.

Избыток масла отводится в бак через переливной клапан 2.

Электрическое бесступенчатое регулирование может быть осуществлено изменением числа оборотов электродвигателя постоянного тока путем изменения силы тока возбуждения шунтовым реостатом. Бесступенчатый привод обеспечивает получение любого числа оборотов шпинделя в минуту в пределах между максимальным и минимальным значением. Это позволяет производить обработку с наивыгоднейшей скоростью резания при различных диаметрах обрабатываемых деталей.

Привод с шаговым электродвигателем применяется в станках с программным управлением. Шаговый электродвигатель устроен таким образом, что вал его вращается прерывисто. Это необходимо в том случае, когда управление приводом подач осуществляется прерывистыми сигналами, отдельными импульсами тока, которые протекают с определенной частотой и в определенном количестве.

Поворот вала шагового электродвигателя на определенный угол (шаг) обеспечивает соответствующее необходимое перемещение органа станка. Частота шаговых перемещений определяет скорость перемещения, а количество — величину перемещения исполнительного органа станка.

3. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА СТАНКА

Современный металлорежущий станок имеет систему разнообразных кинематических звеньев. Звеном называется деталь механизма, входящая в соприкосновение с другой деталью (зубчатое колесо, винт, гайка, червяк, червячное колесо и т. п.). Совокупность двух звеньев, ограничивающая их относительное движение, называется кинематической парой. Схематическое условное изображение совокупности кинематических пар от двигателя к исполнительному механизму станка называется кинематической цепью. Схематическое условное изображение кинематических цепей называется кинематической схемой. Кинематическая схема позволяет анализировать движение различных органов станка.

В табл. 10 приведены основные условные обозначения, применяемые в кинематических схемах станков.

Таблица 10

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМАХ

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Вал		Ремешная передача:	
Соединение двух валов:		плоским ремнем	
глухое		плоским ремнем перекрестная	
глухое с предохранением от перегрузок		клиновидным ремнем	
эластичное			
шарнирное			
телескопическое			
плавающая муфта			
зубчатая муфта		Передача цепью	
Соединение деталей с валом:		Передачи зубчатые:	
свободное для вращения		цилиндрическими колесами	
подвижное без вращения		коническими колесами	
при помощи вытяжной шпонки		винтовые	
глухое		Передача червячная	
Подшипники скольжения:			
радиальный		Передача зубчатая реечная	
радиально-упорный односторонний			
радиально-упорный двусторонний			
Подшипники качения:			
радиальный			
радиально-упорный односторонний			
радиально-упорный двусторонний			

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Передача ходовым винтом с гайкой:			
неразъемной		ленточный	
разъемной		дисковый	
Муфты:		Концы шпинделей станков:	
		центровых	
кулачковая односторонняя		патронных	
кулачковая двусторонняя		прутковых	
конусная		сверлильных	
дисковая односторонняя		расточных планшайбой	
дисковая двусторонняя		фрезерных	
обгонная односторонняя		шлифовальных	
		Электродвигатели:	
обгонная двусторонняя		на лапках	
		фланцевые	
Тормоза:		встроенные	
конусный			
колодочный			

4. ПЕРЕДАЧИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СТАНКАХ

Передачей называется механизм, передающий (или преобразующий) движение от одного элемента к другому. Передаточным отношением называется отношение числа оборотов ведомого вала к числу оборотов ведущего. В станках преимущественно применяются следующие передачи: ременная, зубчатая, цепная, червячная, винтовая и реечная.

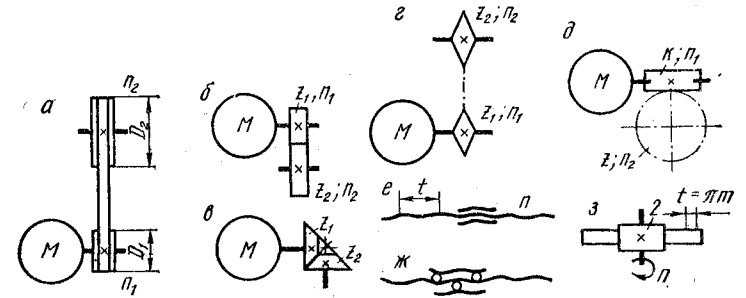


Рис. 229. Основные передачи, применяемые в станках

Ременная передача (рис. 229, а) осуществляется посредством шкивов и ремней. Передаточное отношение ременной передачи

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2} (1 - \epsilon),$$

где D_1 и n_1 — диаметр и число оборотов ведущего шкива;

D_2 и n_2 — диаметр и число оборотов ведомого шкива;

ϵ — коэффициент скольжения ($\epsilon = 0,01 \div 0,02$).

Зубчатая передача (рис. 229, б, в) осуществляется цилиндрическими и коническими колесами для передачи вращательного движения между валами. Передаточное отношение зубчатой передачи

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2},$$

где z_1 и n_1 — число зубьев и число оборотов ведущего колеса;
 z_2 и n_2 — число зубьев и число оборотов ведомого колеса.

Основные достоинства зубчатой передачи: малые габариты, высокий к. п. д., возможность передачи больших мощностей.

Цепная передача (рис. 229, г) осуществляется двумя звездочками, соединенными втулочно-роликовой или зубчатой цепью. Передаточное отношение цепной передачи

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2},$$

где z_1 и z_2 — числа зубьев ведущей и ведомой звездочки.

В цепной передаче отсутствует проскальзывание.

Червячная передача (рис. 229, д) состоит из червяка и червячного колеса. Она позволяет получать малые передаточные отношения, но ее к. п. д. низок по сравнению с к. п. д. зубчатой передачи. Передаточное отношение червячной передачи

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{k}{z},$$

где k — число заходов червяка;
 z — число зубьев червячного колеса.

Винтовая передача (рис. 229, е) обычно применяется для превращения вращательного движения в поступательное. Основные достоинства ее — простота получения медленных перемещений и высокая их точность, малые габариты и возможность передачи больших усилий. К недостаткам следует отнести большие потери на трение и низкий к. п. д.

Для уменьшения трения в резьбе с целью обеспечения плавных и равномерных перемещений в станках стали применять винтовые пары качения. На теле винта и гайки выполняются винтовые канавки, профиль которых очерчивается дугами окружностей. Эти канавки служат дорожками качения для шариков (рис. 229, ж). Шарик перемещается по замкнутой траектории в гайке. Выкатываясь из резьбы, они возвращаются в исходное

положение по обводному каналу. За n оборотов винта с шагом t гайка пройдет путь $s = tn$.

Реечная передача (рис. 229, з) состоит из рейки и зубчатого колеса или рейки и червяка и служит для преобразования вращательного движения в поступательное. Для передачи рейка — зубчатое колесо путь s , пройденный рейкой, равен

$$s = tzn = \pi mzn,$$

где t — шаг рейки;
 m — модуль зацепления;
 z и n — число зубьев и число оборотов зубчатого колеса.

5. ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СТАНКОВ

В станках применяются зубчатые коробки в виде коробок скоростей и подач, состоящих из комбинаций элементарных механизмов. Основными из них являются:

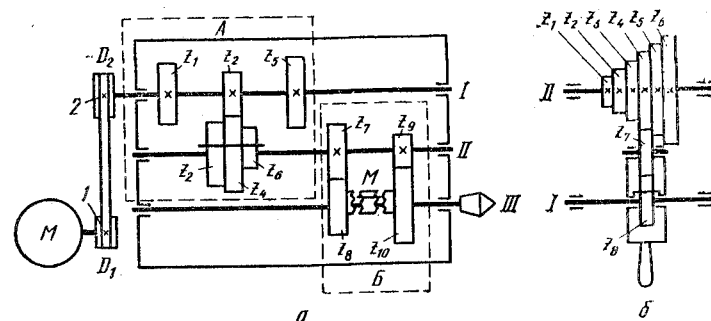


Рис. 230. Коробка скоростей и подач

- 1) механизм с передвигными зубчатыми колесами;
- 2) механизм с муфтами;
- 3) механизм шестеренного конуса со скользящим и накидным зубчатым колесом (коробка Нортон).

Коробка скоростей предназначена для регулирования чисел оборотов шпинделя и передачи мощности от двигателя к шпинделю. Кинематическая схема коробки скоростей (рис. 230, а) включает механизм с передвигными колесами (А) и механизм с муфтой (Б).

От электродвигателя через ременную передачу движение передается валу *I*, имеющему постоянное число оборотов. На валу *I* закреплены неподвижно зубчатые колеса z_1 , z_3 и z_5 . Вал *II* имеет шлицевый участок, вдоль которого перемещается блок колес z_2 , z_4 и z_6 . При последовательном включении колес z_1 с z_2 , z_3 с z_4 и z_5 с z_6 вал *II* получает три различных числа оборотов. На валу *II* также закреплены неподвижным колесами z_7 , z_9 . Они находятся в постоянном зацеплении с колесами z_8 и z_{10} , которые свободно сидят на валу *III* — шпинделе. При перемещении муфты *M* по шлицевому участку шпинделя влево или вправо соответственно подключаются колеса z_8 и z_{10} .

Рассматриваемая коробка скоростей позволяет получить шесть различных чисел оборотов. Число оборотов шпинделя в минуту определяется по формуле

$$n_{\text{шп}} = n_3 i,$$

где n_3 — число оборотов электродвигателя в минуту; i — передаточное отношение соответствующей кинематической цепи.

В рассматриваемом случае имеем шесть различных передаточных отношений:

$$i_1 = \frac{D_1}{D_2} (1 - \xi) \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_7}{z_8}; \quad i_4 = \frac{D_1}{D_2} (1 - \xi) \frac{z_1}{z_2} \frac{z_9}{z_{10}};$$

$$i_2 = \frac{D_1}{D_2} (1 - \xi) \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_7}{z_8}; \quad i_5 = \frac{D_1}{D_2} (1 - \xi) \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_9}{z_{10}};$$

$$i_3 = \frac{D_1}{D_2} (1 - \xi) \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8}; \quad i_6 = \frac{D_1}{D_2} (1 - \xi) \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}},$$

где D_1 и D_2 — диаметры шкива *I* и *2*.

Соответственно число оборотов шпинделя в минуту:

$$n_1 = n_3 i_1; \quad n_3 = n_3 i_3; \quad n_5 = n_3 i_5;$$

$$n_2 = n_3 i_2; \quad n_4 = n_3 i_4; \quad n_6 = n_3 i_6.$$

Коробка подач предназначена для осуществления подачи рабочих органов станка. Она включает все перечисленные выше элементарные механизмы.

На рис. 230, б изображен механизм шестеренного конуса с накидной шестерней (коробка Нортон). При

переключении накидного зубчатого колеса с одного колеса конуса, установленного на валу *II*, на другое изменяется соответственно передаточное отношение:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_7} \frac{z_7}{z_8}; \quad i_2 = \frac{z_2}{z_7} \cdot \frac{z_7}{z_8}; \quad i_3 = \frac{z_3}{z_7} \cdot \frac{z_7}{z_8};$$

$$i_4 = \frac{z_4}{z_7} \cdot \frac{z_7}{z_8}; \quad i_5 = \frac{z_5}{z_7} \cdot \frac{z_7}{z_8}; \quad i_6 = \frac{z_6}{z_7} \frac{z_7}{z_8}.$$

Достоинством этого механизма является компактность, недостатком — малая жесткость.

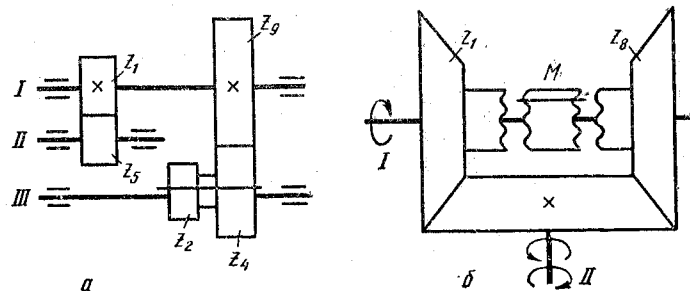


Рис. 231. Реверсивные механизмы

Реверсивные механизмы служат для изменения направления вращательного и поступательного движения элементов станка.

У реверсивного механизма с передвигными зубчатыми колесами (рис. 231, а) наличие дополнительного зацепления чаще всего в виде паразитного колеса z_5 обеспечивает изменение направления вращения вала *III* при перемещении зубчатого блока z_2 — z_4 влево.

У реверсивного механизма с коническими зубчатыми колесами и скользящей муфтой (рис. 231, б) при перемещении кулачковой муфты *M* влево или вправо вал *II* получает левое или правое вращение.

В современных станках для осуществления прямолинейных движений преимущественно применяются следующие механизмы: 1) зубчатое колесо — рейка; 2) червяк — рейка; 3) ходовой винт — гайка в сочетании с реверсивными механизмами; 4) кулисный и кривошипно-шатунный механизм; 5) кулачковые механизмы и 6) гидравлические устройства.

Механизм с качающейся кулисой (рис. 232) применяется в поперечно-строгальных станках. Он состоит из кулисы 10, шарнирно соединенной с ползуном 4. В кулисе имеется прорез, куда входит кулисный камень 8,

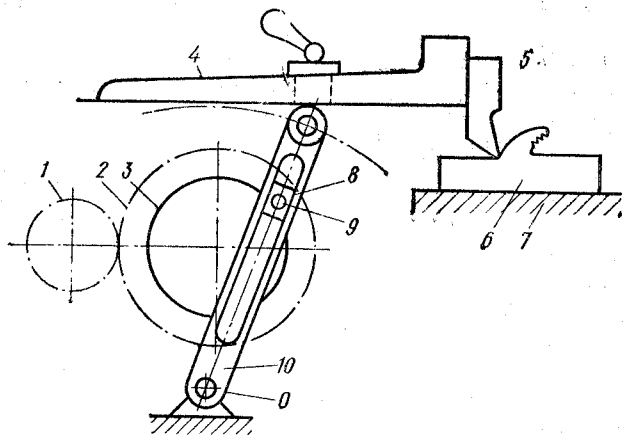


Рис. 232. Механизм с качающейся кулисой

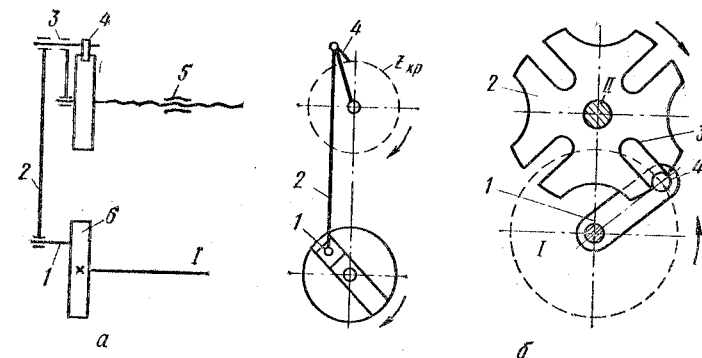


Рис. 233. Механизмы периодического движения

установленный на пальце кривошипа 9. При вращении зубчатого колеса 1 вращаются колесо 2 и диск 3 с пальцем 9, а камень 8 совершает возвратно-поступательное движение в пазу кулисы. Кулиса получает качательные

движения вокруг оси 0, при этом ползун 4 вместе с резцом 5 получает возвратно-поступательное движение относительно детали 6, установленной на столе 7.

Периодические (прерывистые) движения в станках осуществляются храповыми и мальтийскими механизмами.

У храпового механизма (рис. 233, а) при вращении вала I вращается диск 6 с кривошипным пальцем 1, который за один оборот диска сообщает шатуну 2 движение вперед и назад. Шатун 2 через палец 3 сообщает качательное движение собачке 4. При движении вперед собачка поворачивает храповое колесо, при движении назад — проскакивает по нему. В результате этого гайка 5 получает прерывистое поступательное движение.

У мальтийского механизма (рис. 233, б) вал I вращает водило 1 с пальцем 4. Палец 4 входит в паз 3 мальтийского креста 2 и поворачивает его до тех пор, пока не выйдет из паза. При одном обороте вала I вал II получает $1/4$ оборота, причем движение вала II является прерывистым. При 2 пазов мальтийского креста вал II повернется на $1/2$ оборота при одном обороте вала I. Количество пазов в мальтийском кресте 3—8.

Ряды чисел оборотов. При обработке деталей различных размеров из различных материалов необходимо иметь возможность регулировать скорость вращения детали или инструмента. Для каждого станка устанавливается максимальная и минимальная скорость резания v_{\max} и v_{\min} .

Предельные числа оборотов шпинделя в минуту

$$n_{\max} = \frac{1000v_{\max}}{\pi d_{\min}}; \quad n_{\min} = \frac{1000v_{\min}}{\pi d_{\max}},$$

где d_{\max} и d_{\min} — наибольший и наименьший диаметры обработки.

Диапазон регулирования

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$$

Рациональная работа на станке при обработке той или иной детали может потребовать любую скорость в пределах диапазона ее регулирования. Это требование выполнимо в станках с бесступенчатым регулированием,

в частности с механическими вариаторами скоростей, однако они еще сложны и не всегда обеспечивают передачу требуемой мощности и высокий к. п. д.

Коробки скоростей со ступенчатым регулированием обеспечивают получение лишь определенных чисел оборотов в заданном диапазоне, и поэтому расчетная скорость может быть получена лишь тогда, когда соответствующее ей число оборотов имеется на станке. Коробки скоростей со ступенчатым регулированием более компактны и просты, имеют более высокий к. п. д. и поэтому в настоящее время больше распространены.

Еще в 1876 г. А. В. Гадолиным было доказано, что ступенчатые ряды оборотов целесообразно располагать по закону геометрической прогрессии. Таким образом, при $n_1 = n_{\min}$ получаем ряд чисел оборотов:

$$\begin{aligned} n_1 &= n_{\min}; & n_4 &= n_3\varphi = n_1\varphi^3; \\ n_2 &= n_1\varphi; & & \dots \dots \dots \\ n_3 &= n_2\varphi = n_1\varphi^2; & n_z &= n_{z-1}\varphi = n_1\varphi^{z-1}. \end{aligned}$$

Изменение скорости резания при переходе от одного числа оборотов шпинделя к другому называется перепадом скорости резания. Геометрический ряд отличается постоянством перепада скорости. Обычно перепад определяется в процентах:

$$A = \frac{\varphi - 1}{\varphi} 100\%.$$

В нашей стране стандартизованы числа оборотов шпинделей и знаменатели ряда оборотов. По ГОСТ приняты следующие знаменатели рядов и соответствующие им перепады скоростей:

φ	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2
A, %	5	10	20	30	40	45	50

Настройка кинематической цепи. Настройка кинематической цепи заключается в ее подготовке к выполнению соответствующих движений. Для этого устанавливаются в должные положения различные органы управления скоростями главного движения и движения подачи.

В ряде случаев предварительно необходимо определить передаточное отношение настраиваемого элемента кинематической цепи.

Для настройки кинематической цепи необходимо записать уравнение кинематического баланса, выражающее математическую связь между движениями начального и конечного звеньев.

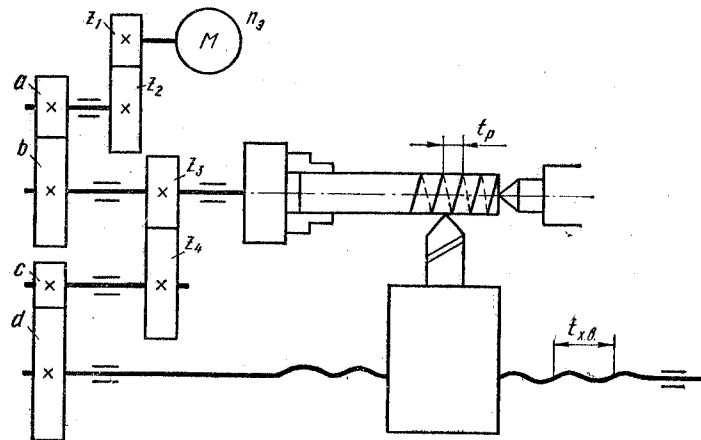


Рис. 234. Упрощенная схема токарно-винторезного станка

Рассмотрим упрощенную схему токарно-винторезного станка (рис. 234). От электродвигателя движение передается шпинделю через зубчатые колеса z_1/z_2 , находящиеся в постоянном зацеплении, и сменные зубчатые колеса a/b , подбираемые в зависимости от заданной скорости резания (числа оборотов шпинделя). Эта кинематическая цепь обеспечивает вращение шпинделя с заданным числом оборотов и называется *скоростной цепью*. Начальным звеном ее является электродвигатель, конечным — шпиндель. Электродвигатель чаще всего имеет постоянное число оборотов, а шпиндель — различные числа, которые получаются в результате установки сменных зубчатых колес a/b с различными числами зубьев.

Таким образом, уравнение кинематического баланса, т. е. математическая связь между числом оборотов

электродвигателя $n_э$ и числом оборотов шпинделя $n_{шп}$ будет иметь следующий вид:

$$n_э = \frac{z_1}{z_2} \frac{a}{b} = n_{шп}.$$

В общем случае при наличии коробки скоростей с некоторым количеством зубчатых колес, находящихся в постоянном зацеплении (общее передаточное отношение их обозначим через $i_{пост}$), и определенным количеством настраиваемых зубчатых колес, например передвигжных блоков (передаточное отношение их при включении каждого числа оборотов шпинделя обозначим через $i_{настр}$), уравнение кинематического баланса будет иметь следующий вид:

$$n_э i_{пост} i_{настр} = n_{шп}.$$

Формула для определения передаточного отношения настраиваемых элементов, называемая формулой настройки, имеет такой вид:

$$i_{настр} = \frac{n_{шп}}{n_э i_{пост}}.$$

Второй кинематической цепью является цепь, связывающая вращение шпинделя с поступательным перемещением суппорта (резца) при нарезании резьбы. Известно, что основным параметром любой резьбы является шаг, причем при повороте винта на один оборот точка, лежащая на его периферии, переместится на величину шага. Таким образом, для получения резьбы на детали, установленной в центрах токарного станка, должно быть соблюдено следующее условие: за один оборот детали суппорт с резцом должен переместиться на один шаг. Это условие и определяет перемещение начального и конечного звеньев цепи, т. е. за один оборот начального звена (шпинделя) конечное звено (суппорт) с резцом переместится на величину шага. Уравнение кинематического баланса этой цепи, называемой *резьбонарезной*, будет иметь следующий вид (рис. 234):

$$1 \text{ об. шп} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{c}{d} t_{х.в} = t_p,$$

где $t_{х.в}$ и t_p — шаг ходового винта и шаг нарезаемой резьбы, мм.

Между шпинделем и ходовым винтом в токарно-винторезных станках располагается коробка подач с определенным количеством постоянных и настраиваемых зубчатых колес. В общем случае уравнение баланса резьбонарезной кинематической цепи выразится так:

$$1 \text{ об. шп. } i_{пост} i_{настр} t_{х.в} = t_p.$$

Формула настройки

$$i_{настр} = \frac{t_p}{t_{х.в} i_{пост}}.$$

Таким образом, для настройки любой кинематической цепи необходимо: 1) при заданном движении начального и конечного звена цепи написать уравнение баланса кинематической цепи; 2) определить передаточное отношение настраиваемого элемента, т. е. написать формулу настройки.

Глава VI

ОБРАБОТКА НА СТАНКАХ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

Широкое распространение токарный станок получил после изобретения русским механиком Андреем Нартовым (1680—1756 гг.) механического суппорта для закрепления и осуществления подачи резца. И сегодня еще в Ленинградском музее Эрмитаже можно увидеть токарные и токарно-копировальные станки, созданные талантливым умельцем А. Нартовым. В истории станкостроения почетное место занимают русские станкостроители Яков Батищев, Алексей Сурнин, Павел Захава, Лев Собакин. Русский ученый — академик А. В. Гадолин является основоположником теории расчета коробок скоростей станков.

До Великой Октябрьской социалистической революции в России станкостроение не было развито. В период довоенных пятилеток были созданы станкостроительные предприятия, освоено выпуск основных типов станков.

В 1932 г. в стране было освоено производство первого токарного станка с коробкой скоростей. Станок называл-

ся ДИП («Догнать и перегнать»). Теперь в нашей стране производятся самые сложные и самые точные станки; по количеству станков СССР занимает первое место в мире и удерживает прочные позиции на мировом рынке.

Токарно-винторезный станок 1А62, пришедший на смену ДИПу, около 15 лет являлся основным типом станка среднего размера. С 1957 г. московский завод «Красный пролетарий» имени Ефремова выпускает станок 1К62, непрерывно совершенствуя его конструкцию. Этот станок широко используется на предприятиях страны.

С конца 1972 г. завод «Красный пролетарий» приступил к серийному выпуску более совершенного станка 16К20. По мощности и быстроходности, точности обработки и удобству обслуживания станок 16К20 относится к лучшим станкам мирового класса. Выдающимся достижением отечественного станкостроения является освоение производства токарных станков с программным управлением. Выпуск этих станков непрерывно увеличивается.

1. ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫЙ СТАНОК МОДЕЛИ 16К20

Станки токарной группы предназначаются для обработки наружных и внутренних поверхностей вращения (цилиндрических, конических и фасонных), подрезания торцов, нарезания резьбы и некоторых других работ. Основным видом режущего инструмента для токарных станков являются резцы. Для обработки отверстий используют также сверла, зенкеры, развертки и др. Для нарезания резьбы применяют метчики и плашки.

Главное движение у всех станков токарной группы (движение резания) осуществляется вращением заготовки. *Движение подачи* сообщается режущему инструменту. В большинстве случаев это прямолинейное перемещение инструмента. Иногда инструмент перемещается по более сложной траектории.

Большинство деталей машин и механизмов является телами вращения и обработку их наиболее удобно производить на станках токарной группы. Этим определяется их широкое распространение в машиностроении (до 40% общего количества станочного парка заводов). В зависимости от масштаба производства, конфигурации,

размеров и массы деталей для их обработки применяют различные типы токарных станков. Наибольшее распространение получили токарные станки общего назначения и, в частности, станок модели 16К20.

Этот станок предназначен для выполнения разнообразных токарных и резьбонарезных работ: скоростного и силового резания сырых, закаленных, а также труднообрабатываемых материалов, в том числе инструментальных и жаропрочных сталей. Он обеспечивает полное использование возможностей инструмента с твердосплавными, керамическими и алмазными пластинами. Наиболее рентабельно использование станка в единичном и мелкосерийном производстве.

Основные узлы токарно-винторезного станка

Токарно-винторезные станки имеют однотипную компоновку, которую мы рассмотрим на примере станка 16К20 (рис. 235).

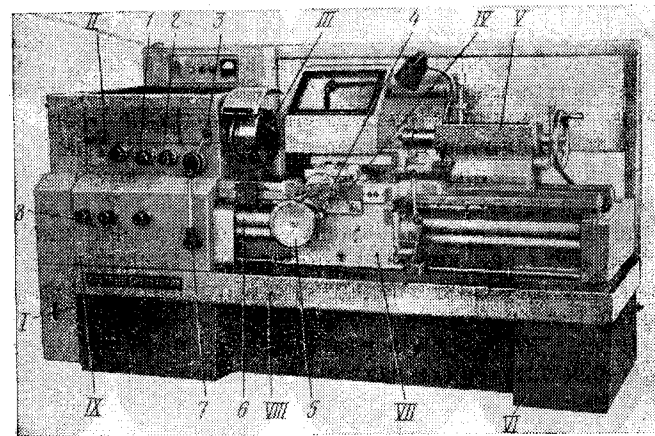


Рис. 235. Токарно-винторезный станок модели 16К20

Максимальный диаметр заготовки, устанавливаемый над направляющими станины, составляет 400 мм, а над верхней частью суппорта 220 мм. Длина обрабатываемых заготовок 710—2000 мм.

Достоинством станка по сравнению с предыдущими моделями являются высокая мощность привода (до 10 кВт), большая скорость шпинделя (до 2000 об/мин), широкий диапазон подач (от 0,05 до 2,8 продольные и от 0,025 до 1,4 поперечные). Станок имеет механизм ускоренных перемещений суппорта в направлении продольной, а также поперечной подачи, включение механических перемещений суппорта осуществляется рукояткой фартука VII, направление движения которой совпадает с направлением перемещения суппорта, включение быстрых перемещений суппорта производится нажатием кнопки, встроенной в рукоятку. Все это позволяет значительно сократить время обработки и облегчить труд рабочего.

Станок модели 16К20 имеет следующие основные узлы.

Станина VIII, имеющая жесткую коробчатую форму с калеными шлифованными направляющими, установлена на монолитном основании I и VI, одновременно служащим стружкосборником и резервуаром для охлаждающей жидкости. На станине смонтированы прочие узлы станка: салазки суппорта IV, задняя бабка V и коробка передач IX. Передняя (шпиндельная) бабка II с коробкой скоростей крепится на левом конце станины и служит для закрепления заготовки и придания ей вращательного движения с различными числами оборотов. Шпиндель с фланцевым передним концом смонтирован в прецизионных подшипниках качения, не требующих регулировки в процессе эксплуатации.

Шпиндель III — это последний в скоростной кинематической цепи вал коробки скоростей. Передний конец его имеет коническое отверстие, в котором устанавливается центр (для работы в центрах), и резьбу на наружной поверхности, на которую навинчивают кулачковый или поводковый патрон для закрепления обрабатываемых заготовок.

Шпиндель изготавливают полым для размещения в нем обрабатываемого прутка. Коробку подач крепят с лицевой стороны станины. Она обеспечивает получение необходимой величины подачи или шага нарезаемой резьбы. Выходной вал шпиндельной бабки через сменные зубчатые колеса соединен с коробкой подач, обеспечивающей перемещение суппорта в широком диапазоне подач от ходового валика при точении и ходового винта при на-

резании резьбы. Для нарезания резьбы повышенной точности предусмотрено непосредственное соединение ходового винта с входным валом коробки подач.

Суппорт служит для сообщения резцу движения подачи. Нижняя часть суппорта, называемая продольными салазками или кареткой, движется по направляющим станины при продольной подаче. На поперечных салазках расположен верхний поворотный суппорт с резцедержателем. Принципиально новое конструктивное исполнение механизма индексации четырехпозиционного резцедержателя гарантирует высокую стабильность фиксации и виброустойчивость.

Фартук VII крепят в каретке суппорта. В нем расположен механизм, при помощи которого вращательное движение, передаваемое от шпинделя к ходовому валику или ходовому винту, преобразуется в поступательное прямолинейное (продольное или поперечное) движение суппорта. В нем монтируются устройства для включения поперечной или продольной подачи, движения для нарезания резьбы, а также перемещения суппорта. Фартук оснащен оригинальным механизмом отключения подачи, позволяющим производить обработку изделий по упорам при продольном и поперечном точении. Обладая высокой надежностью, этот механизм обеспечивает необходимую точность останова суппорта.

Задняя бабка V служит для поддержания правого конца обрабатываемой заготовки при работе в центрах, используется также для закрепления сверл, зенкеров, разверток и других инструментов для обработки отверстий. Для этого в пиноли задней бабки имеется конусное отверстие. Достоинством станка 16К20 является наличие у задней бабки устройства-сцепки для соединения ее с суппортом и осуществления механической подачи.

Станок управляется рукоятками, показанными на рис. 235; для изменения числа оборотов шпинделя 1, 3 для реверсирования шпинделя при нарезании резьбы 2 для включения фрикционной муфты 6 для ручной продольной и поперечной подач 4, 5, для изменения величины подач 7, 8.

Станок 16К20 является универсальным. Он применяется для выполнения разнообразных токарных работ, для нарезания метрических, дюймовых, модульных и питчевых резьб. С помощью прилагаемого к станку гидро-

копировального устройства на станке можно обрабатывать детали со сложным профилем, достигая высокой производительности.

Кинематическая схема станка модели 1К62 показана на рис. 236. Кинематическая цепь главного движения связывает вал электродвигателя со шпинделем станка.

Движение от асинхронного короткозамкнутого фланцевого электродвигателя $N=10$ кВт ($n=1450$ об/мин) передается пятью клиновыми ремнями через шкивы 142—254 (цифры на схеме у шкивов и зубчатых колес обозначают диаметр шкивов и числа зубьев колес) валу I коробки скоростей. Два (левый и правый) многодисковых фрикциона, управляемых муфтой M_1 , служат соответственно для включения прямого и обратного вращения шпинделя. При левом положении муфты M_1 переключение подвижного двойного блока B_1 на валу II и тройного блока B_2 на валу III позволяет получить на последнем шесть различных чисел оборотов. Их можно непосредственно передать шпинделю станка на вал VI, если блок B_5 смещен влево, и сцепляются зубчатые колеса 65—43, либо через перебор, когда блок B_5 смещен вправо. При этом движение от вала III передается валу V через подвижные блоки B_3 и B_4 вала IV и далее шпинделю станка через блок B_5 , зубчатые колеса 27—54. При различных положениях блоков B_3 и B_4 получают три различных передаточных отношения 1, $1/4$, $1/16$. Если учесть, что на валу III можно получить шесть различных чисел оборотов, то через перебор шпиндель получает 18 различных чисел оборотов, а всего 24 в диапазоне от 12,5 до 2000 об/мин.

Движение подачи передается от шпинделя станка через блок B_6 (при его левом положении) и зубчатые колеса 60—60 вала VII. Если блок B_6 переместить в правое положение, движение передается от шпинделя по цепи главного движения через перебор и от вала III передается валу VII парой зубчатых колес 45—45. В этом случае в зависимости от передаточного отношения перебора величина подачи и шаг резьбы увеличивается в 2, 8 или 32 раза.

Для изменения направления движения резца при нарезании резьбы применяют реверсивный механизм, позволяющий получить две скорости правого вращения при крайнем левом и среднем положениях блока B_7 и одну

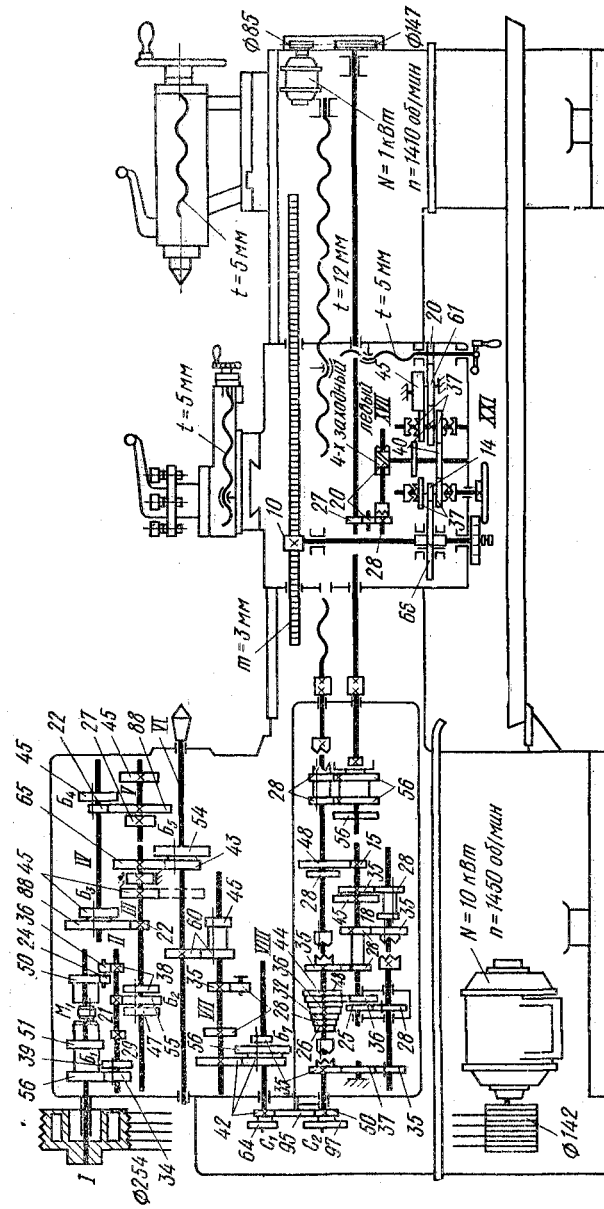


Рис. 236. Кинематическая схема станка модели 1К62

скорость левого вращения при правом положении блока B_7 .

Коробке подач движение передается от вала VIII через гитару со сменными блоками зубчатых колес C_1 и C_2 . Обычно (в положении, показанном на схеме) движение передается через зубчатые колеса 42—95—50. Для нарезания модульных, торцовых и особо точных резьб используют другие наборы сменных колес.

От коробки подач движение передается ходовому винту для нарезания резьб или ходовому валу для механических подач.

От ходового винта через гайку, закрепленную в фартуке станка, суппорт получает движение для нарезания резьбы.

От ходового валика через механизм фартука станка движение передается реечному зубчатому колесу, которое катится по неподвижно закрепленной на станине рейке и сообщает суппорту механическое движение подачи.

Для ускоренного перемещения суппорта используют вспомогательный электродвигатель.

Станок имеет 48 продольных подач (от 0,075 до 4,46 мм/об) и столько же поперечных (от 0,038 до 2,23 мм/об) и позволяет нарезать практически все виды резьб.

2. ТОКАРНЫЕ РЕЗЦЫ

Большое разнообразие работ, выполняемых на станках токарной группы, обуславливает разнообразие токарных резцов (рис. 237). Любой резец состоит из головки (рабочей части) и стержня (части, служащей для закрепления). В зависимости от формы головки (рис. 237, а) и ее положения относительно стержня резцы разделяются на правые (1, 3) и левые (2, 4) прямые 5, отогнутые 6 и с оттянутой головкой 7. По назначению различают следующие основные типы резцов.

Проходные резцы (рис. 237, б, 1 и 2) применяются при обтачивании тел вращения по наружной поверхности.

Подрезные резцы (рис. 237, б, 3 и 4) используются для обработки (подрезания) торцовых поверхностей различных деталей, заплечиков валов и т. д.

Отрезные резцы (рис. 237, в) предназначены для отрезания материала и проточки канавок. Так как при этом

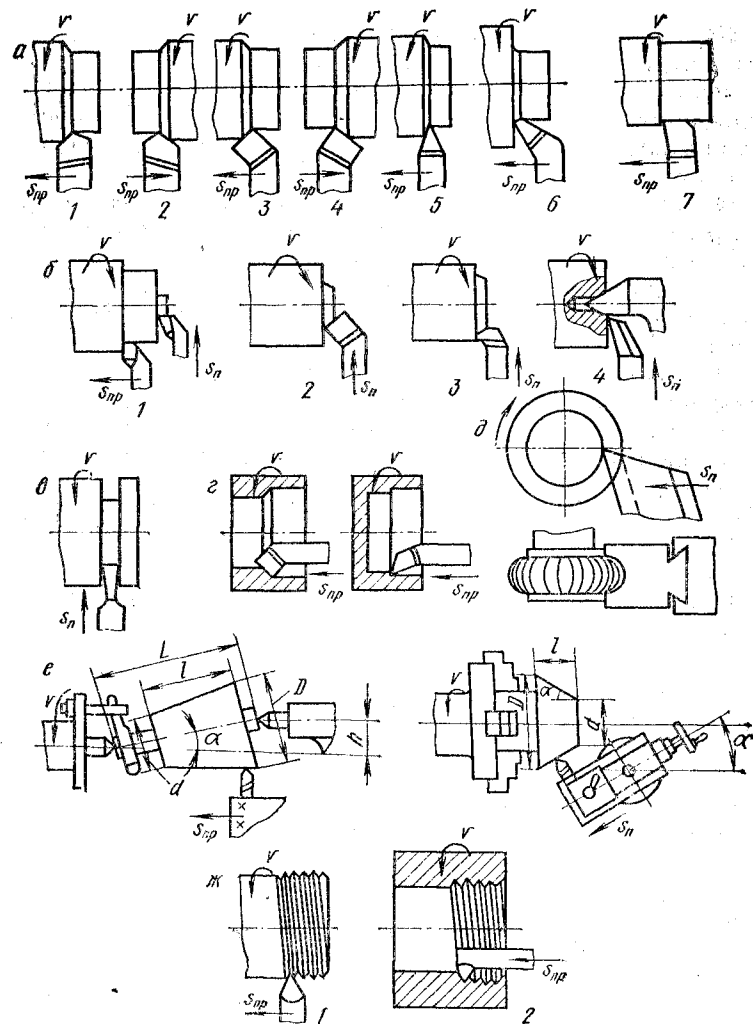


Рис. 237. Токарные резцы и схемы обработки поверхностей заготовок на токарно-винторезном станке

необходимо обеспечить возможно меньшую потерю материала, отрезные резцы делают с малой длиной главной режущей кромки.

Расточные резцы (рис. 237, г) применяются для растачивания отверстий, выемок и т. д. Размеры расточного резца (поперечное сечение и длину стержня) выбирают в соответствии с размерами обрабатываемого отверстия. Расточные резцы ввиду их значительного вылета из резцедержателя сильно изгибаются и пружинят, поэтому ими нельзя снимать стружку больших сечений.

Фасонные резцы имеют режущую кромку, форма которой совпадает с профилем обрабатываемой поверхности (рис. 237, д, е).

Резьбовые резцы применяются для нарезания резьб. На рис. 237, ж показаны резцы для нарезания наружной резьбы. Профиль резца для нарезания резьбы должен соответствовать профилю нарезаемой резьбы. Передний угол во избежание искажения профиля резца делается равным нулю, а задний — от 6 до 8°.

Наружную и внутреннюю треугольную резьбу можно нарезать также *резьбовыми гребенками* (рис. 238, а, б). В отличие от обычных резьбовых резцов резьбовые гребенки имеют на режущей части не один, а несколько зубьев, выполненных по форме профиля резьбы. Рабочая часть гребенки состоит из режущих и калибрующих зубьев. Режущие зубья (их обычно два—три) срезаны под углом так, что каждый последующий зуб режет несколько глубже предыдущего. Калибрующая часть, которая следует из режущей, имеет также несколько зубьев (два—три) и предназначена для зачистки резьбы (рис. 238, в, г).

Около 80—85% всех резцов, находящихся в эксплуатации на машиностроительных предприятиях, оснащены твердым сплавом. По способу крепления режущей части резцы делятся на четыре вида: с пластинками, цельные, сварные, с напаянной пластинкой; с механическим креплением пластинок (рис. 239).

Большое распространение получили резцы с многогранными неперетачиваемыми пластинками. Во Всесоюзном научно-исследовательском инструментальном институте разработаны трех-, четырех-, пяти- и шестигранные твердосплавные пластинки, предназначенные для обработки стали и чугуна. На рис. 240 показаны шести-

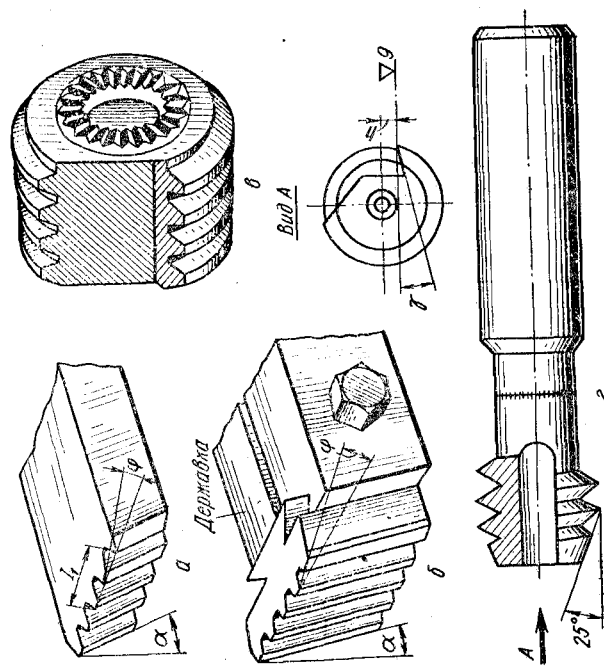
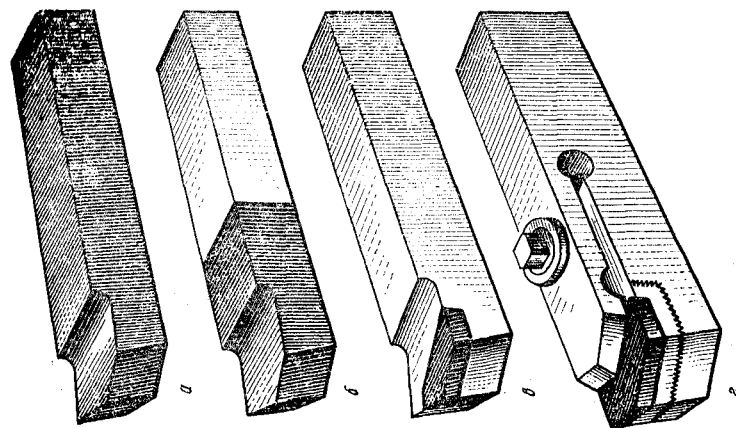


Рис. 238. Инструмент для нарезания резьб

Рис. 239. Способы крепления режущей части резцов:

а — цельный; б — сварной; в — с напаянной пластинкой; г — с механическим креплением пластинок

гранная пластинка и ее закрепление в державке 1. Многогранная твердосплавная пластинка 2 надевается на штифт 3, который запрессован в державке. Пластика крепится между штифтом и задней опорной стенкой державки.

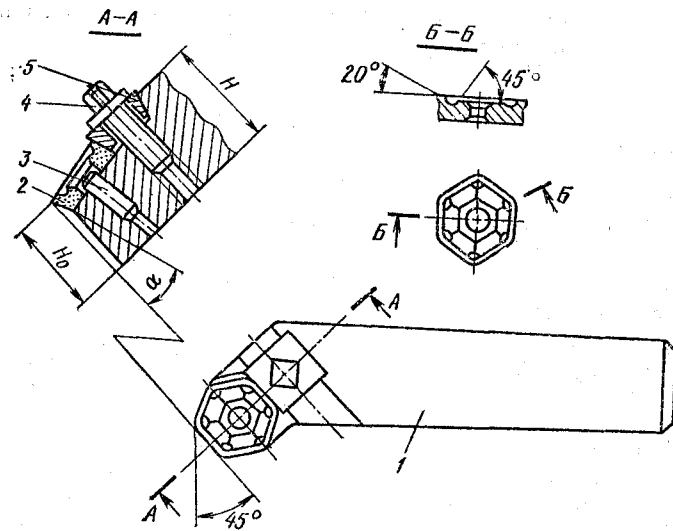


Рис. 240. Резцы с многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава

жавки с помощью клина 5 и винта 4 (угол клина 30—32°). После затупления всех режущих кромок пластинок не перетачиваются, а возвращаются в переработку.

3. ТОКАРНО-ЛОБОВЫЕ И КАРУСЕЛЬНЫЕ СТАНКИ

Токарно-лобовые и карусельные станки предназначены для обработки крупногабаритных тяжелых заготовок типа маховиков, шкивов, дисков, зубчатых колес при отношении длины заготовки к диаметру в пределах 0,4—0,7. Лобовые станки от универсальных токарных станков отличаются отсутствием задней бабки.

Основной недостаток лобовых станков — трудности с выверкой и закреплением тяжеловесных заготовок на вертикальной плоскости планшайбы и большие изгибающие усилия, действующие на шпиндель станка. Этим

обуславливаются низкая производительность, невысокая точность и недостаточная чистота обработки.

Карусельные станки. У карусельных станков ось вращения планшайбы с изделием вертикальна и поэтому они не имеют большей части недостатков, присущих лобовым

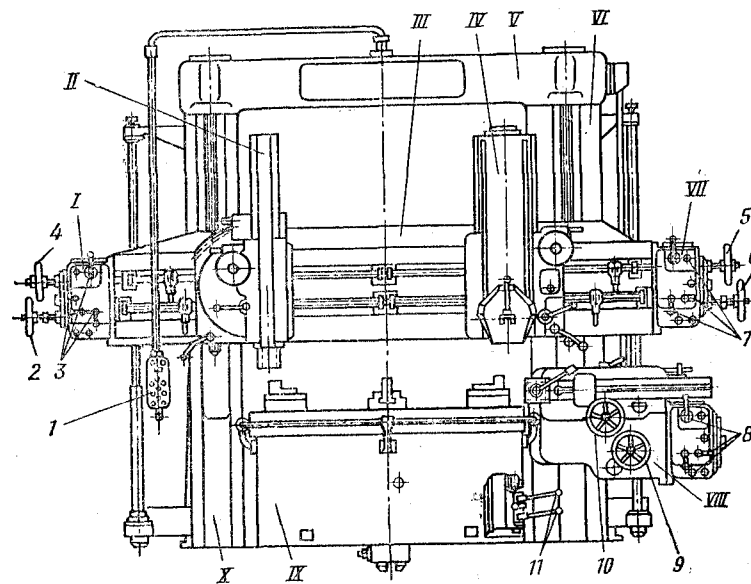


Рис. 241. Двухстоечный токарно-карусельный станок модели 1553:

1 — кнопочная станция; 2 — маховичок ручного горизонтального перемещения верхнего суппорта; 3 — маховичок и рукоятки переключения коробки подач; 4 — маховичок вертикального ручного перемещения левого верхнего суппорта; 5 — маховичок ручного вертикального перемещения; 6 — маховичок горизонтального перемещения; 7 — рукоятки переключения подач правого верхнего суппорта с револьверной головкой; 8 — рукоятки переключения подачи; 9 — маховичок ручного вертикального перемещения бокового суппорта; 10 — маховичок ручного горизонтального перемещения суппорта; 11 — рукоятка переключения скоростей

станкам. Станки предназначены для обтачивания и растачивания, цилиндрических, конических и фасонных поверхностей и подрезки торцов крупногабаритных деталей большого диаметра (более 500—1000 мм) и малой длины (до 500—800 мм). Кроме того, на них можно осуществлять нарезание резьбы, сверление и зенкерование.

Современные токарно-карусельные станки бывают двух типов — одностоечные и двухстоечные, если диаметр

планшайбы 2 м. Общий вид двухстоечного токарно-карусельного станка модели 1553 с диаметром планшайбы 2100 мм показан на рис. 241.

Основные узлы станка: коробка подач левого верхнего суппорта *I*, левый верхний поворотный суппорт с резцедержателем *II*, траверса *III*, правый верхний суппорт с револьверной головкой *IV*, портал с механизмом перемещения траверсы *V*, стойки *VI*, *X*, коробка подач правого верхнего суппорта *VII*, боковой суппорт с коробкой подач *VIII*, станина с планшайбой и коробкой скоростей *IX*.

Главное вращательное движение планшайбы осуществляется от электродвигателя мощностью 40 кВт через коробку скоростей, позволяющую получить 18 чисел оборотов планшайбы (от 1,4 до 48 об/мин). Горизонтальное и вертикальное перемещение суппортов осуществляются с 12 подачами (от 0,2 до 9 мм/об). Конструкция станка предусматривает быстрые перемещения суппортов, механическое перемещение траверсы и поворот револьверной головки.

Боковой суппорт служит для обработки наружных цилиндрических поверхностей, а при горизонтальной подаче — для обработки торцов, прорезки канавок, снятия фасок, для обработки фасонных поверхностей.

Левый верхний поворотный суппорт используют для обработки наружных и внутренних конических поверхностей. Правый верхний суппорт с пятипозиционной револьверной головкой предназначен для обработки отверстий. При горизонтальной подаче верхних суппортов можно обрабатывать торцовые поверхности.

4. ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫЕ СТАНКИ

Револьверные станки отличаются от токарных тем, что вместо задней бабки имеют суппорт с револьверной головкой, в которой в определенной последовательности закрепляют различные инструменты. Станки предназначены для обработки заготовок сравнительно сложной формы при использовании большого количества инструментов. Можно обрабатывать детали из пруткового проката, а также штучные литые, кованные и штампованные заготовки.

Благодаря большой степени механизации вспомогательных движений, снижению затрат времени на смену инструмента и измерения револьверные станки более производительны, чем токарные, однако сложность наладки оправдывает их использование лишь в серийном

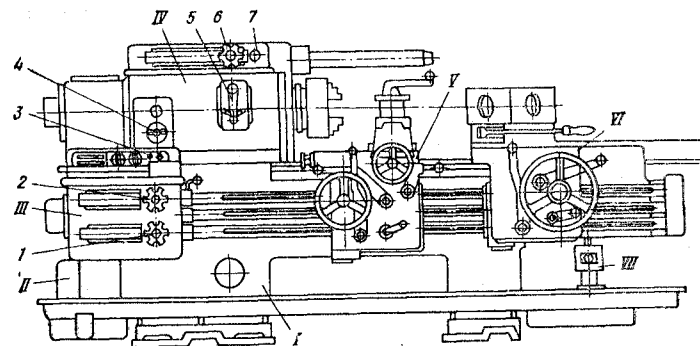


Рис. 242. Токарно-револьверный станок модели 1П365

производстве. По конструкции револьверные станки подразделяют на две группы: с вертикальной осью револьверной головки, чаще всего шестигранной, и горизонтальной осью, как правило, круглой головки.

На рис. 242 показан общий вид токарно-револьверного станка модели 1П365, предназначенного для обработки штучных заготовок.

На станине *I* станка смонтированы: гидропривод *II*, коробка подач *III*, коробка скоростей *IV*, поперечный суппорт *V*, револьверный суппорт *VI* и насос охлаждения *VII*.

Большой диапазон чисел оборотов шпинделя (от 34 до 1500 об/мин) и подач, повышенная мощность позволяют обрабатывать широкий ассортимент изделий. Наличие устройства для ускоренных перемещений револьверной головки и поперечного суппорта облегчает работу на станке. Жесткие упоры автоматически отключают подачу револьверной головки и поперечного суппорта, что облегчает работу и дает возможность получения постоянных размеров при обработке партии одинаковых деталей.

Особенностью рассматриваемой модели станка является наличие устройства, позволяющего изменять числа оборотов и подач для следующего перехода с предварительным выбором их в процессе работы станка (преселективное управление). Переключение зубчатых колес и муфт осуществляется гидравлическим механизмом при медленном вращении валов коробки скоростей и подач. Для управления станком служат рукоятки, показанные на общем виде станка (рис. 242). Пуск и останов электро-

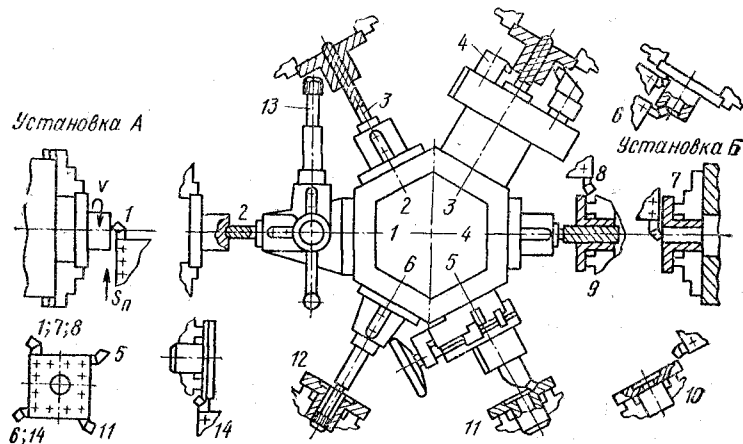


Рис. 243. Схема палатки токарно-револьверного станка

двигателя привода главного движения осуществляют кнопками 3, а включение, останов и реверсирование шпинделя — рукояткой 5. Выбор числа оборотов шпинделя производится механизмом 6, а переключение при полной остановке шпинделя — рукояткой 7. Величину подачи предварительно устанавливают маховичками 1, 2 и рукояткой 4, переключение — рукояткой 7. Движением поперечного и револьверного суппортов управляют рукоятками, расположенными на фартуках. Станок имеет централизованную систему смазки.

На рис. 243 показан пример наладки револьверного станка типа ПЗ65 на изготовление детали за две установки, т. е. сначала обрабатывают часть поверхностей, затем заготовку закрепляют за обработанную часть и далее обрабатывают остальные поверхности.

Установка А. Заготовку закрепляют обычно в трех-кулачковом патроне по цилиндрической поверхности ступицы.

Переход 1. Подрезание торца проходным отогнутым резцом с поперечного суппорта.

Переход 2. Зацентровка заготовки специальным сверлом, закрепленным в приспособлении на 1-й грани револьверной головки.

Переход 3. Сверление отверстия сверлом со 2-й грани револьверной головки.

Переход 4. С 3-й грани револьверной головки с помощью специального приспособления осуществляют рас-сверливание отверстия, обтачивание наружной поверхности ступицы и снятие фаски.

Переходы 5 и 6. С помощью поперечного суппорта по-очередно подрезается торец фланца и растачивается внутренняя фаска. После шестого перехода деталь снимается.

Установка Б. Заготовку закрепляют в патроне по обработанной поверхности ступицы.

Переход 7. Черновое подрезание торца проходным резцом с поперечного суппорта.

Переход 8. Этим же резцом обтачивают наружную поверхность.

Переход 9. Зенкерование отверстия с 4-й грани револьверной головки.

Переход 10. Чистовое подрезание торца с поперечного суппорта.

Переход 11. С помощью специального приспособления, установленного на 5-й грани револьверной головки, растачивают канавку.

Переход 12. Предварительное развертывание отверстия разверткой, закрепленной на 6-й грани револьверной головки.

Переход 13. С помощью развертки, закрепленной в поворотном приспособлении на 1-й грани револьверной головки, — чистовое развертывание.

Переход 14. Снятие фаски специальным резцом, закрепленным в поперечном суппорте.

Преимущества револьверных станков по сравнению с токарными:

1) возможность сокращения машинного времени за счет применения многорезцовых головок и одновременной

обработки заготовки инструментами револьверной головки и поперечного суппорта;

2) возможность сокращения вспомогательного времени за счет быстрой смены инструмента (механизмами для поворота револьверной головки), быстрой смены заготовки (быстродействующими механизмами подачи и зажима пруткового материала).

5. МНОГОРЕЗЦОВЫЕ ТОКАРНЫЕ СТАНКИ

Многорезцовые токарные станки отличаются от обычных токарных наличием нескольких суппортов и специальных резцедержателей, позволяющих проводить обработку одновременно несколькими резцами. Наладку резцов осуществляют так, чтобы каждый резец обрабатывал лишь небольшой участок заготовки. Одновременная параллельная и последовательная работа резцов значительно ускоряет процесс обработки. Этому способствует также работа станков по замкнутому полуавтоматическому циклу, так как у них автоматизированы главные и вспомогательные движения. После окончания обработки заготовки станок останавливается. Для повторения цикла необходимо снять со станка готовую деталь, установить и закрепить заготовку и пустить станок.

На рис. 244 показан пример наладки многорезцового полуавтомата на обработку ступенчатого валика. Резцы 1—5 установлены на переднем суппорте, который вначале ускоренно подводится к заготовке, затем одновременно продольным и поперечным движением врезается на заданную глубину резания. Далее происходит только продольная подача, при которой каждый резец обрабатывает определенный участок наружной цилиндрической поверхности заготовки, затем суппорт быстро отводится и возвращается в исходное положение. Схема движения суппорта показана стрелками.

Резцы 6—8, закрепленные в резцедержателе заднего суппорта, перемещаются в поперечном направлении, они подрезают торец 6, протачивают фасонную канавку 7, обтачивают фаску 8.

На рис. 245 показан общий вид токарного многорезцового полуавтомата модели 1730. Станок имеет станину VI, с левой стороны которой расположены: передняя бабка с механизмом главного движения I, гитара смен-

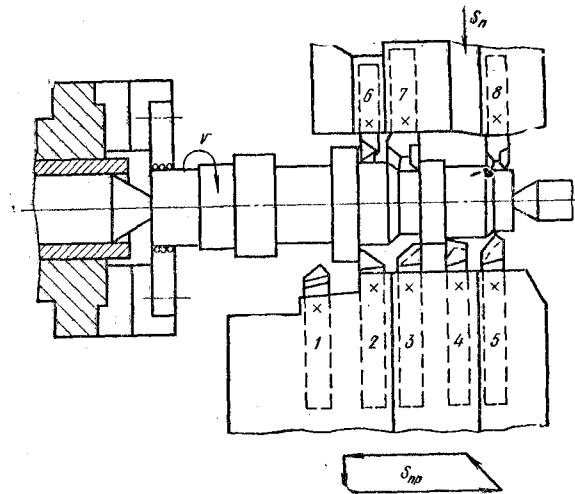


Рис. 244. Схема наладки многорезцового полуавтомата

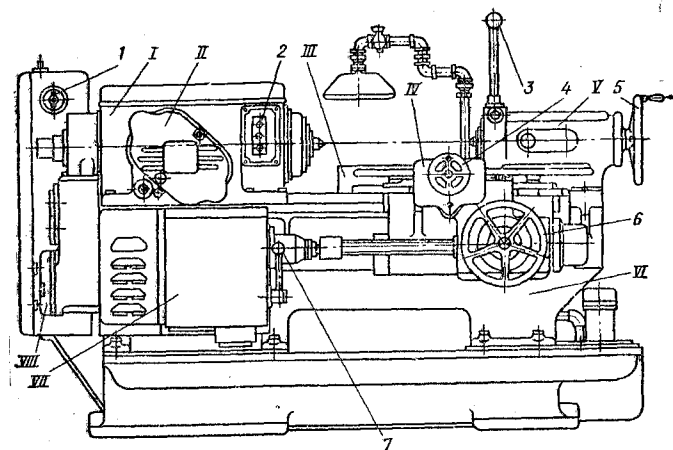


Рис. 245. Токарный многорезцовый полуавтомат модели 1730:

1 — рукоятка включения насоса для охлаждающе-смазывающей жидкости; 2 — кнопочная станция; 3 — рукоятка зажима пиноли задней бабки; 4 — маховичок ручного поперечного перемещения переднего суппорта; 5 — маховичок перемещения пиноли задней бабки; 6 — маховичок ручного продольного перемещения салазок переднего суппорта; 7 — рукоятка пуска станка

ных колес движения резания (гитара скоростей) II, коробка подач с узлом автоматики управления станком VII, гитара сменных колес продольной подачи переднего суппорта VIII.

Станок имеет два суппорта: передний IV для продольного перемещения и задний III для поперечного перемещения. Справа на станине установлена задняя бабка V.

Главное вращательное движение шпинделю передается от электродвигателя мощностью 10 кВт. Изменение чисел оборотов шпинделя производится с помощью сменных зубчатых колес. Набор сменных колес позволяет получить 12 чисел оборотов (от 40 до 500 об/мин). Количество подач переднего суппорта 12 (от 0,12 до 1,38 мм/об). Задний суппорт имеет 12 поперечных подач (от 0,016 до 2,37 мм/об). Передний суппорт может ускоренно перемещаться от вспомогательного электродвигателя.

6. ТОКАРНЫЕ АВТОМАТЫ И ПОЛУАВТОМАТЫ

Автоматами называются станки, на которых после того, как они налажены, обработка деталей производится без участия рабочего. Полуавтоматами называются станки, у которых все движения автоматизированы, кроме установки подачи прутков обрабатываемого материала к загрузочному устройству, снятия готовой детали, а также контролю готовых изделий, производимых рабочим.

Автоматы подразделяются по количеству шпинделей на одношпиндельные и многошпиндельные, по расположению осей шпинделей вертикальные и горизонтальные, по технологическому назначению — фасонно-отрезные, фасонно-продольные и револьверные.

Одношпиндельные автоматы применяются главным образом для обработки деталей из прутков диаметром до 36 мм. Многошпиндельные автоматы применяются обычно для обработки изделий из прутка диаметром 15—100 мм. Выбор типа автомата для обработки деталей из прутка диаметром 15—36 мм определяется экономическими соображениями и требуемой точностью обработки. При меньшей серийности или более высоких требованиях к точности деталей предпочитают применять одношпиндельные автоматы.

На рис. 246 показана принципиальная схема наладки одношпиндельных автоматов. На фасонно-отрезном автомате (рис. 246, а) резцами, установленными на поперечных суппортах, обтачивают фасонные поверхности и отрезают деталь от прутка. Наибольший диаметр заготовки 15 мм.

У фасонно-продольного автомата (рис. 246, б) предусмотрено поперечное движение суппортов, а в продольном направлении движется шпиндель или вся шпиндельная бабка. Сочетание поперечного и продольного переме-

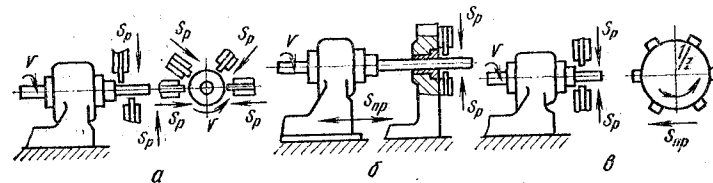


Рис. 246. Принципиальные схемы товарных одношпиндельных автоматов

щений позволяет обрабатывать конические и фасонные поверхности без применения фасонных резцов. На этих автоматах из прутка изготавливают длинные детали малого диаметра. Для повышения жесткости прутки опираются на люнет. На револьверном автомате (рис. 246, в) используют инструменты, закрепленные на двух — трех поперечных суппортах и в револьверной головке, совершающей продольное перемещение.

Эти автоматы сочетают достоинства револьверных станков и автоматов, что делает их весьма производительными и универсальными. На них как из прутка, так и из штучных заготовок можно изготавливать детали сложной формы. Относительная сложность наладки и настройки ограничивает применение автоматов крупносерийным и массовым производством.

На рис. 247 показан общий вид токарно-револьверного одношпиндельного автомата модели 1А136. Его назначение — обработка деталей сложной формы с использованием нескольких одновременно или последовательно работающих инструментов. В качестве заготовок используют прутковый прокат диаметром до 36 мм.

С левой стороны станины расположена шпиндельная бабка 3 с механизмом подачи и зажима пруткового ма-

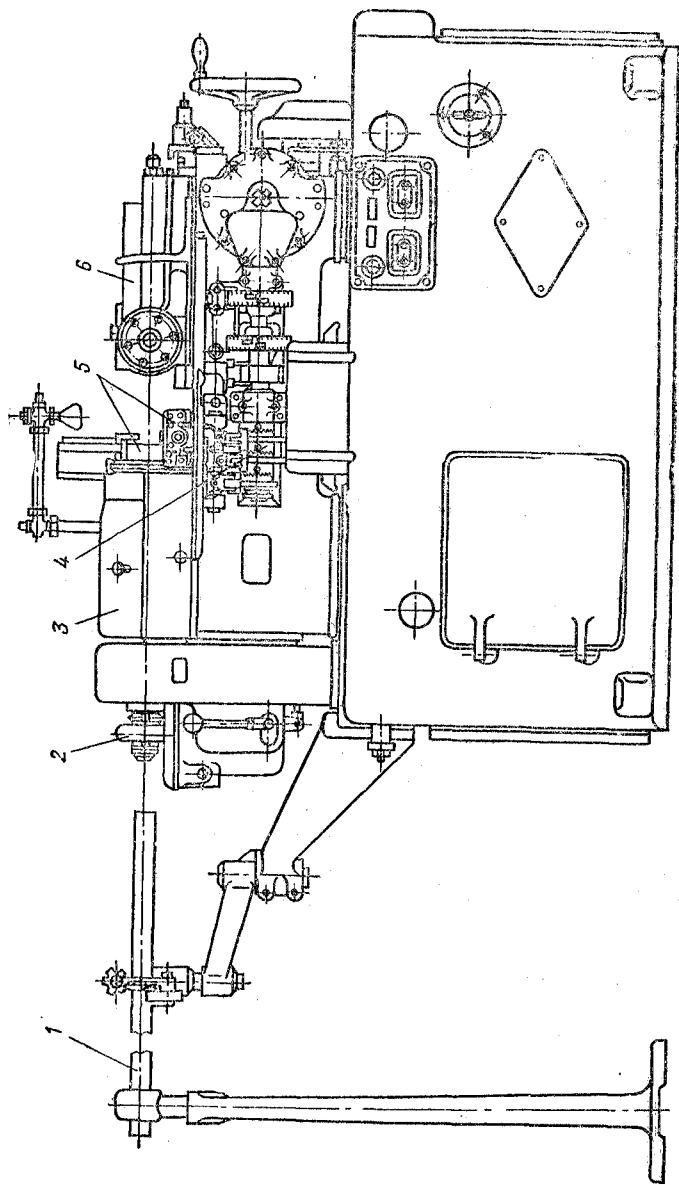


Рис. 247. Одношпиндельный токарно-револьверный автомат модели 1A136

териала 2 и направляющей трубой 1 с поддерживающими стойками. В центральной части станины установлены поперечные суппорты 5: два горизонтальных — передний и задний — и один вертикальный. С правой стороны станины расположен револьверный суппорт 6 с шестипозиционной револьверной головкой, имеющей горизонтальную ось вращения.

Главный распределительный вал 4 с кулачками для подачи суппортов и барабанами для вспомогательных движений смонтирован в подшипниках на передней стенке станины.

Обрабатываемый пруток устанавливают в направляющей трубе. Периодически в начале цикла, подающий механизм подает пруток до заранее настроенного упора на величину, приблизительно равную длине обрабатываемой заготовки, после чего пруток зажимается в цанговом патроне. Инструменты, закрепленные в револьверной головке, совершают вместе с ней продольное перемещение и поочередно вступает в работу: обтачивают наружные цилиндрические поверхности, обрабатывают отверстие, нарезают резьбу. Инструменты, установленные на поперечных суппортах, совершают поперечную подачу и обрабатывают фасонные поверхности, подрезают торцы, снимают фаски, отрезают готовое изделие от прутка.

Шпиндель станка получает движение от реверсивного электродвигателя постоянного тока мощностью 4,2 кВт через двухступенчатую коробку скоростей и клиноременную передачу. Конструкция привода обеспечивает бесступенчатое регулирование чисел оборотов шпинделя от 100 до 2000 об/мин и автоматическое переключение.

Все остальные движения (ускоренные и рабочие перемещения поперечных суппортов и револьверной головки, подача и зажим пруткового материала, поворот револьверной головки, изменение чисел оборотов) выполняются автоматически от специальных кулачков и барабанов, профили которых обеспечивают необходимую скорость движения инструментов, требуемую длину обработки и чередование переходов.

Многошпиндельные токарные автоматы. Они подразделяются на многопозиционные и отрезные. Многошпиндельные многопозиционные автоматы применяют для обработки деталей, требующих последовательного применения нескольких инструментов. Автоматы этой группы

чаще всего бывают четырех- и шестишпиндельными, значительно реже пяти- и восьмишпиндельными. Шестишпиндельные автоматы применяют для обработки деталей сложной формы, требующих большого количества инструментов.

Производительность четырехшпиндельных автоматов значительно больше, чем одношпиндельных, но не в четыре, а в два — три раза. Это объясняется тем, что потери, обусловленные различием времени отдельных переходов (практически очень трудно сделать эти времена одинаковыми для всех операций), а также и тем, что числа оборотов в минуту всех четырех шпинделей одинаковы. Кроме того, подналадка при затуплении, поломке инструмента и т. п. четырехшпиндельного автомата сложнее и требует больше времени, чем подналадка одношпиндельного.

Отрезные многшпиндельные автоматы применяют для обработки деталей простейшей формы, требующей не более двух — трех инструментов.

В практике машиностроения все большее распространение получают автоматы для штучных заготовок с загрузкой из бункеров — магазинов, а также станки-автоматы, у которых различные операции автоматизированы с помощью гидравлических, электрических, пневматических, электронных и смешанных устройств (систем). Работа этих систем регламентируется программным устройством с применением перфолент или счетно-решающих машин.

7. РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА СТАНКАХ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

На станках токарной группы обрабатывают тела вращения по наружной и внутренней поверхностям, гладкие и фасонные, подрезают торцы, отрезают обработанную часть заготовки и т. п.

Токарные работы разделяются на черновые, при которых удаляется основная часть припуска, и чистовые, при которых придают заготовке окончательную форму, размеры, точность и чистоту поверхности.

Наладка и настройка токарного станка

Наладкой станка называются все подготовительные работы, связанные с выполнением заданий операции (ус-

тановка заготовки, инструмента, приспособлений и др.). Резцы крепятся в резцедержателе так, чтобы их вершина находилась на высоте оси заготовки (линии центров станка), а вылет составлял не более, чем 1,5 высоты стержня — державки. Заготовки закрепляют при помощи универсальных и специальных приспособлений.

На рис. 248, а показан пример обработки длинного (нежесткого) гладкого вала в центрах с помощью по-

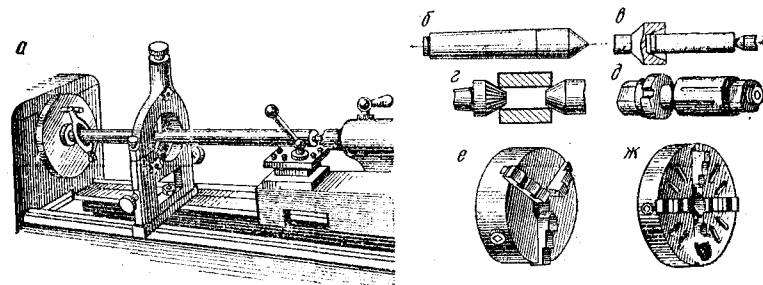


Рис. 248. Приспособления и принадлежности токарных станков

водкового патрона и хомутика, закрепленного на заготовке. Для увеличения жесткости вал опирается на люнет.

Рассмотрим конструкции центров. Простой упорный центр (рис. 248, б) используется при наличии в торце заготовки центрального отверстия, обратный (рис. 248, в), если центрального гнезда нет, рифлешный и грибок (рис. 248, з) предназначены для закрепления полых заготовок.

Тонкостенные заготовки закрепляют на разжимных оправках (рис. 248, д). При высоких скоростях резания используют вращающиеся центры и центры с наконечником из твердого сплава. Некоторые детали (втулки, заготовки шестерен и др.), имеющие обработанные отверстия, устанавливают в центрах на специальных центровых оправках. Если у заготовки требуется обработать отверстие или если она короткая, ее закрепляют в патроне, установленном на переднем конце шпинделя.

Трехкулачковый самоцентрирующий патрон (рис. 248, е) имеет три кулачка, которые одновременно перемещаются по радиальным пазам, что позволяет не только

зажимать, но и центрировать заготовки цилиндрической формы. Четырехкулачковый патрон (рис. 248, *ж*) позволяет закреплять и центрировать заготовки несимметричной формы. Каждый кулачок перемещается независимо.

Применяют закаленные и незакаленные (сырые) кулачки патронов. Обычно пользуются закаленными кулачками из-за их малой изнашиваемости. Но при зажиме такими кулачками на деталях с окончательно обработанными поверхностями остаются следы в виде вмятин. Чтобы избежать вмятин, рекомендуется применять незакаленные кулачки, которые перед установкой детали протачивают и точно пригоняют по диаметру закрепляемой в них детали.

В люнетах обрабатывают длинные детали, у которых длина в 10—12 раз превышает их диаметр, при обработке они прогибаются под действием незначительной силы резания и даже собственной массы. Обтачивание таких деталей обычным методом очень непроизводительно, не точно и во многих случаях практически невыполнимо; деталь может быть вырвана из центров. Пользуясь люнетом, можно обтачивать детали с высокой точностью и снимать стружку большего сечения, не опасаясь прогиба детали. Люнеты бывают неподвижные и подвижные.

Неподвижный люнет применяется для обработки жестких валов, закрепленных в центрах с помощью планшайбы, хомутика, люнета и заднего центра. Такое устройство люнета позволяет устанавливать в нем валы различных диаметров. Прежде чем установить в люнете такой конструкции необточенную заготовку, следует проточить у нее посередине или в другом месте шейку под кулачки, длина которой должна быть немного больше ширины кулачка.

Неподвижные люнеты применяют также для отрезания концов и подрезания торцов у длинных деталей. С помощью люнета можно обрабатывать отверстия с торца длинной детали или просверлить такую деталь по всей ее длине. Подвижной люнет используют при чистовом обтачивании длинных гладких деталей. Люнет закрепляют на каретке суппорта, так что он вместе с ней перемещается вдоль обтачиваемой детали; следуя за резцом и поддерживая деталь непосредственно в месте приложения силы резания, он предохраняет ее от прогибов. Подвижной люнет имеет только два кулачка, которые устанавли-

вают и закрепляют так же, как кулачки неподвижного люнета.

При высоких скоростях применяют люнеты с роликами или шарикоподшипниками. При наружной обработке тяжелых и длинных заготовок их закрепляют одним концом в патроне, а другой конец поддерживается центром, установленным в пиноли задней бабки. Настройка станка заключается в приведении его кинематических цепей в соответствие с заданным режимом резания. Наиболее часто на токарных станках проводят работы, схемы которых показаны на рис. 237.

Отрезание выполняют отрезным резцом (см. рис. 237). Он имеет длинную узкую головку для того, чтобы экономить металл по ширине резца. Однако с уменьшением ширины режущей части снижается жесткость и прочность резца. Для заготовок диаметром 30—50 мм ширина режущей части резца составляет 3—5 мм.

Для лучшего отвода стружки на передней поверхности резца затачивается лунка. Для уменьшения трения на боковых сторонах затачивают вспомогательные углы в плане. Отверстия большого диаметра, ступенчатые, сквозные и глухие обрабатывают растачиванием (рис. 237) расточными резцами. На токарном станке отверстия можно обрабатывать также сверлами, зенкерами, развертками, установленными в пиноли задней бабки, с ручной или с механической подачей.

Фасонные поверхности обрабатывают специальными фасонными резцами (см. рис. 237, *д*) с поперечной подачей суппорта. Фасонные поверхности обрабатывают также с помощью копировальных механических или гидравлических устройств.

Обработка конических поверхностей

Обработка конических поверхностей может быть произведена широким резцом, поворотом верхних салазок суппорта, смещением корпуса задней бабки, применением конусной линейки. Обработку конических поверхностей (см. рис. 237) осуществляют смещением задней бабки в поперечном направлении при обработке длинных и пологих наружных конусов с уклоном до 8° С. Величина смещения задней бабки определяется из выражения

$$h = \frac{(D-d)L}{2l}.$$

Обработка конических поверхностей способом смещения задней бабки находит широкое применение, так как в этом случае не требуется специальных приспособлений и обработка может быть осуществлена на любом токарном станке. Во избежание неравномерного износа центровых отверстий при обработке точных конусов иногда применяют специальный шаровой центр со сферической поверхностью вместо конуса.

Для обработки коротких наружных и внутренних конусов используют поворот верхней части суппорта на угол α , равный углу наклона образующей конуса к его оси. Величину этого угла определяют из выражения

$$\alpha = \arctg \frac{D-d}{2l}.$$

Обработка наружных конусов широким резцом

Этот способ используется при обработке конуса с образующей, не превышающей по длине примерно 20 мм.

Обработка конусов при помощи конусной линейки

К обработке с помощью конусной (копирной) линейки прибегают при изготовлении конусов с углом уклона до 10—12°. Этот способ более удобен по сравнению со смещением центра задней бабки и обеспечивает более высокую точность обработки. Обработка конических поверхностей с помощью конусной линейки имеет ряд преимуществ:

- 1) центры во время работы станка остаются в нормальном положении и поэтому не изнашиваются;
- 2) можно не только обтачивать наружные конические поверхности, но и растачивать конические отверстия;
- 3) можно обрабатывать детали с большей конусностью, чем при смещении задней бабки.

Обработка конических отверстий

Обработка внутренних конусов производится резцом при повернутых верхних салазках или при помощи копирной линейки. Конические отверстия получают в результате сверления и последующего растачивания. Конические отверстия нормализованных размером (внутрен-

ние конусы в переходных втулках, конусы различных насадных инструментов и т. д.) можно обрабатывать комплектом из трех разверток.

Нарезание резьбы проводят резьбовыми наружными 1 или внутренними 2 резцами (см. рис. 237). Угол в плане при вершине резьбового резца должен соответствовать углу профиля нарезаемой резьбы. Винтовую канавку прорезают за несколько проходов.

Подача резца на глубину резания осуществляется либо перпендикулярно оси изделия при чистовой обработке, либо параллельно правому режущему лезвию резца при повороте резцедержателя на половину угла в плане при вершине резца при черновой обработке. При нарезании стандартных резьб станок настраивают с помощью коробки подач. Для нарезания точных и нестандартных резьб используют набор сменных зубчатых колес. Настройка станка на нарезание резьбы и заключается в обеспечении условия, при котором за один оборот шпинделя суппорт с резьбовым резцом перемещается на величину, равную шагу нарезаемой резьбы.

Глава VII

ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ

На сверлильных станках проводят сверление, зенкование, развертывание, нарезание резьбы и другие виды обработки отверстий.

Сверление — наиболее распространенный метод получения отверстий резанием — дает возможность получать отверстия в сплошном материале и увеличивать диаметр имеющегося отверстия (рассверливание). Главное движение при сверлении — *вращательное*, движение подачи — *поступательное*. Оба вида движения могут сообщаться детали и инструменту в различных комбинациях. При сверлении на обычных сверлильных станках оба движения получает инструмент — сверло 1 (рис. 249). Заготовка 2 крепится неподвижно. При сверлении на токарных станках и специальных сверлильных станках

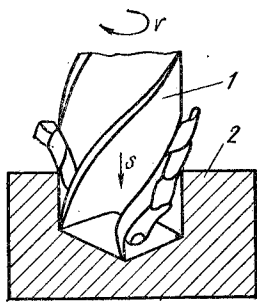


Рис. 249. Общий вид спирального сверла

(станки для глубокого сверления) вращается обрабатываемая деталь, а сверлу сообщается только поступательное движение подачи.

По конструкции сверла подразделяется на: спиральные, перовые, центровочные, для глубокого сверления и др. Сверла изготавливают как из инструментальных сталей (Р18, Р9, 9ХС, РК5), так и оснащенными пластинками твердых сплавов.

1. ВИДЫ РАБОТ, РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Сверление — процесс образования отверстия в сплошном материале спиральным сверлом. На рис. 250 показана конструкция и геометрия спирального сверла.

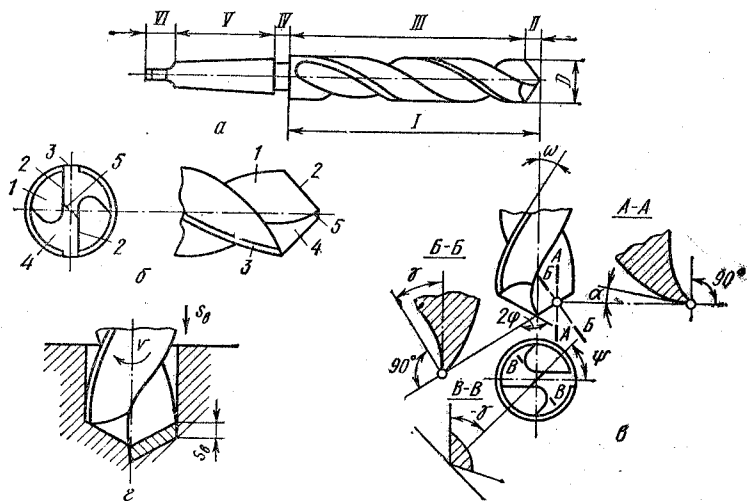


Рис. 250. Спиральное сверло, его части и геометрия режущей части

Основные части сверла (рис. 250, а): рабочая часть *I*, которая делится на режущую или заборную часть *II*, совершающую основную работу резания, и центрирующую

часть *III*; шейка — выточка *IV* для выхода шлифовального круга, хвостовик *V*, как правило, конический и с лапкой *VI* служит для закрепления сверла в шпинделе станка. Диаметр сверла несколько уменьшается к хвостовику для снижения трения сверла о стенки отверстия.

Режущая часть сверла состоит из следующих элементов (рис. 250, б): винтовой канавки *1* для отвода стружки, дно которой является передней поверхностью; главного режущего лезвия *2*; ленточки *3*, направляющей сверло в отверстие; главной задней поверхности *4*; поперечного режущего лезвия *5*.

Геометрия режущих лезвий сверла (рис. 250, в). Задний угол α измеряется в секущей плоскости *AA*, параллельной оси сверла. Для компенсации изменений, происходящих в процессе резания, задний угол затачивают переменным — большим у центра и меньшим на периферии. Передний угол γ измеряют в секущей плоскости *BB*, перпендикулярной к главному режущему лезвию сверла. Угол наклона винтовой канавки сверла ω измеряют между касательной к винтовой поверхности и образующей цилиндра.

В силу особенностей конструкции сверла угол ω и передний угол γ не постоянны. Они уменьшаются от периферии к центру сверла. Угол 2φ (удвоенный угол в плане) между режущими кромками колеблется от 80° (для мрамора и других хрупких материалов) до 140° (для алюминия, баббита и других мягких металлов). Для сверления стали и чугуна этот угол берется равным $116-118^\circ$. Угол наклона винтовой канавки определяет величину переднего угла и колеблется от 10° (для случаев сверления хрупких материалов) до 45° (для мягких материалов). Для сверления стали и чугуна этот угол берется равным 30° . Сверло работает в тяжелых условиях, так как сверление производится чаще всего в сплошном материале. Отверстие после сверления получается неточным (5—4-й классы точности) и имеет грубую обработанную поверхность (3—4-й классы). Неточность объясняется уводом сверла вследствие наличия поперечной кромки и неправильной (несимметричной) заточки главных режущих кромок.

Как видно в сечении *BB*, у поперечного режущего лезвия передний угол γ отрицательный. Поэтому попереч-

ное режущее лезвие работает в трудных условиях, оно скользит по поверхности и пластически деформирует металл, а не режет его. Установлено, что около 65% усилий подачи приходится на поперечную кромку. Для облегчения условия работы сверла применяют подточку поперечной кромки. Производят также двойную заточку сверл, работающих по чугуно и стали, с углом $2\varphi = 75 \div 80^\circ$. Ширина задней поверхности второй заточки делается в пределах 0,18—0,22 диаметра сверла. В результате двойной заточки увеличивается ширина стружки и повышается стойкость сверла. Элементы режима резания и размеры срезаемого слоя показаны на рис. 250, г. Скорость резания при сверлении определяют из выражения

$$v = \pi D n / 1000 \text{ м/мин,}$$

где D — наружный диаметр сверла;
 n — число оборотов сверла.

Глубина резания $t = D/2$ при сверлении в сплошном металле и $t = \frac{D-d}{2}$ при рассверливании отверстия, где d — диаметр рассверливаемого отверстия.

Сверление глубоких отверстий. В случае, когда глубина отверстия больше трех диаметров, оно называется глубоким.

При сверлении глубоких отверстий обычными спиральными сверлами условия работы сверла затрудняются, ухудшается отвод стружки и тепла, уменьшается жесткость сверла. Наличие поперечного лезвия даже при идеальной заточке сверла приводит к уводу сверла от оси заготовки и разностенности.

Применение удлиненных спиральных сверл с впадинами трубка для подвода охлаждающей жидкости практически не устраняет указанные затруднения. Поэтому глубокие отверстия сверлят специальными сверлами одностороннего резания. Наиболее часто встречающиеся типы таких сверл показаны на рис. 251, а, б.

Сверла с внутренним подводом охлаждающей жидкости (рис. 251, а). Эти сверла служат для получения точных отверстий диаметром до 25 мм. Охлаждающая жидкость подается под большим давлением по внутреннему отверстию A к режущей части сверла, при этом она не только отводит тепло, но и способствует удалению стружки вместе с жидкостью по наружной канавке B .

Сверло имеет одно режущее лезвие. Для направления и облегчения внедрения сверла в металл вершина его смещена от оси на величину приблизительно $0,15 D$ (D — диаметр сверла).

Сверла с внутренним отводом стружки (рис. 251, б). Эти сверла применяют для сверления отверстий диаметром более 20 мм. Охлаждающая жидкость подается в зазор между обрабатываемой поверхностью и наружной

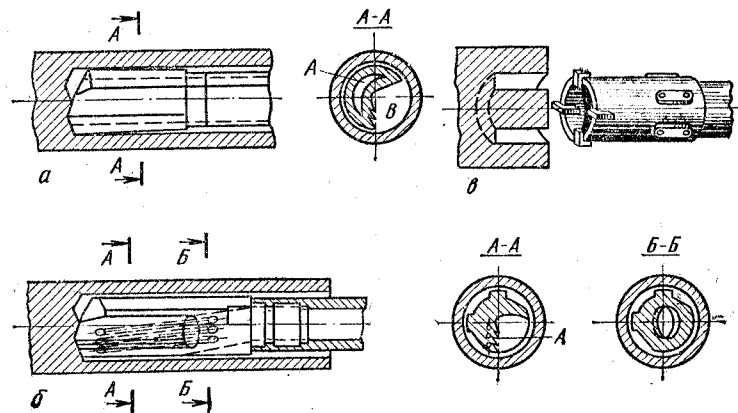


Рис. 251. Сверла для глубокого сверления отверстий

поверхностью сверла и далее через отверстия A в зону резания, а отводится вместе со стружкой через отверстие в корпусе сверла. В отверстии сверло центрируется направляющими колодками.

Сверла для кольцевого сверления (рис. 251, в). Сверло состоит из корпуса с закрепленными в нем торцовыми резцами. Режущие лезвия резцов вырезают в заготовке кольцевую полость. Охлаждающая жидкость поступает по зазорам между наружным диаметром корпуса сверла и стенкой отверстия, а отводится жидкость вместе со стружкой в зазор между внутренним диаметром корпуса и сердечником. Для размельчения стружки затачиваются стружкоразделительные канавки.

Зенкерование — процесс обработки отверстий, полученных литьем, ковкой, штамповкой или предварительно просверленных с целью улучшения чистоты поверхности

и повышения точности, а также подготовки отверстия к последующему развертыванию.

Зенкер (рис. 252) имеет те же части и режущие элементы, что и сверло. По типу крепления зенкеры различаются на хвостовые (рис. 252, а) и насадные (рис. 252, б), по виду обрабатываемых отверстий — цилиндрические, конические, комбинированные. Зенкеры имеют три или более зубьев, этим достигается лучшее направ-

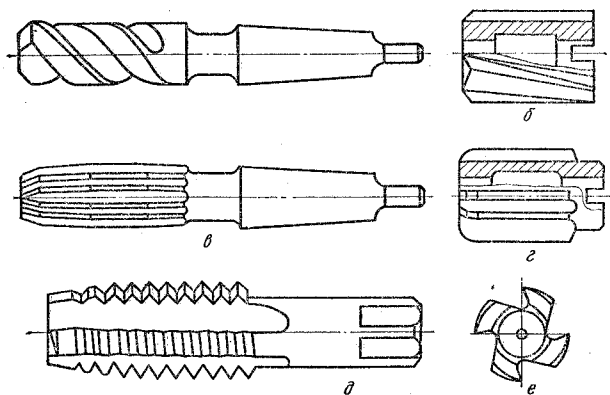


Рис. 252. Инструменты для обработки отверстий

ление, повышение стойкости инструмента и точности размера отверстия.

Развертывание — процесс окончательной обработки отверстия после растачивания или зенкерования. Под развертывание оставляют очень небольшой припуск (0,1—0,3 мм). Характеризуется высокой точностью размеров и чистотой поверхности отверстий (2—3-й класс точности и $\nabla 7$ — $\nabla 9$ -й класс чистоты). Для повышения точности размера отверстия припуск снимается последовательно двумя—тремя развертками. Различают развертки ручные и машинные, хвостовые и насадные, цилиндрические и конические.

На рис. 252 показаны машинные цилиндрические развертки: хвостовая (рис. 252, а) и насадная (рис. 252, б). За калибрующей частью развертки имеется участок с обратным конусом для уменьшения трения.

Развертки изготавливают как с прямыми, так и с винтовыми зубьями. Последние используют для обработки вязких металлов и легких сплавов, а также для обработки отверстий, имеющих продольные канавки, пазы, выемки. Число зубьев развертки делается четным для удобства измерения ее диаметра. Обычно развертки имеют от 6 до 12 зубьев. В случае неоднородности обрабатываемого материала зубья развертки испытывают периодическое изменение нагрузки, что может привести к появлению на обрабатываемой детали продольных рисок, расположенных соответственно шагу зубьев. Во избежание этого изготавливают развертки с неравномерным шагом зубьев, но так, чтобы противоположные зубья попарно лежали в диаметральной плоскости (для удобства измерения диаметра развертки).

Нарезание резьбы в отверстиях на сверлильных станках проводят машинными метчиками. Метчик (рис. 252, д) представляет собой закаленный винт с вырезанными продольными или винтовыми канавками, которые образуют режущие лезвия.

Получая вращательное движение от шпинделя станка, метчик ввинчивается в отверстие и прорезает на поверхности его винтовую канавку, профиль которой соответствует профилю резьбы метчика. Чтобы метчик мог нарезать резьбу полного профиля за один или два прохода, у него, как показано на рис. 252, д, заточен заборный конус, благодаря которому зубья на режущей части постепенно прорезают канавку резьбы. Калибрующая часть окончательно формирует профиль резьбы.

2. СВЕРЛИЛЬНЫЕ СТАНКИ

Станки сверлильной группы предназначены для обработки различных отверстий. Они являются весьма распространенным видом металлорежущего оборудования машиностроительных заводов. Существуют следующие типы универсальных сверлильных станков: настольные (одношпиндельные); вертикально-сверлильные одношпиндельные; радиально-сверлильные; многошпиндельные; станки для глубокого сверления. Наибольшее распространение в общем машиностроении получили вертикально- и радиально-сверлильные станки.

На рис. 253 показано устройство вертикально-сверлильного станка модели 2А150. Основные узлы станка: фундаментная плита 1, на которой смонтирована колонна или станина 2. На верхней части станины размещены коробка скоростей 3 и электродвигатель 4. На вертикальных направляющих колонны установлена шпиндельная бабка 5, в которой размещен механизм подачи, осущес-

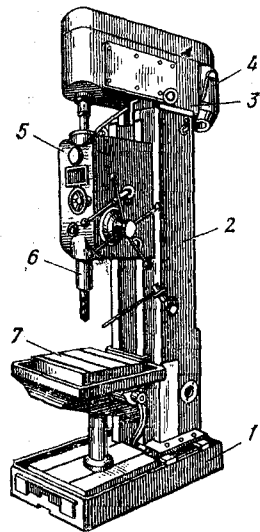


Рис. 253. Вертикально-сверлильный станок модели 2А150

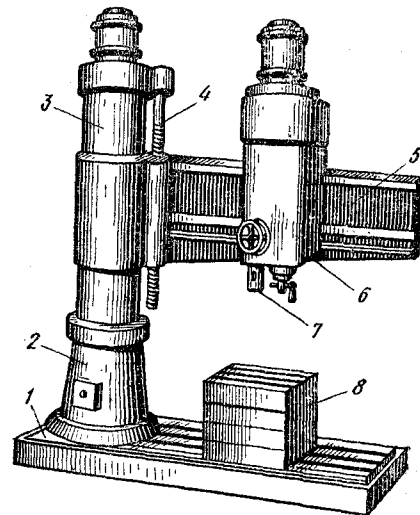


Рис. 254. Радиально-сверлильный станок модели 2А53

ствляющий механическое вертикальное перемещение шпинделя 6 с инструментом. Ручное перемещение шпинделя осуществляют штурвалом. Заготовки и приспособления устанавливают на столе 7, который может перемещаться по вертикальным направляющим колонны.

На станке можно сверлить отверстия диаметром до 50 мм и глубиной до 300 мм. Можно зенкеровать и развертывать отверстия и нарезать в них резьбу. Главное движение передается шпинделю от электродвигателя мощностью 7 кВт через коробку скоростей, позволяющую получать 12 чисел оборотов шпинделя (от 32 до 1400 об/мин).

Коробка подач обеспечивает девять подач (от 0,125 до 2,14 мм/об). На станке предусмотрен механизм, обеспечивающий сверление отверстий на заданную глубину с автоматическим отключением подачи. Движения резания и подачи получает шпиндель с режущим инструментом. Совмещение осей инструмента и отверстия производится предварительным перемещением детали относительно инструмента. С целью расширения технологических возможностей сверлильных станков они иногда снабжаются дополнительными головками (многошпиндельными и многопозиционными головками для увеличения числа оборотов и др.). У всех типоразмеров вертикально-сверлильных станков кинематические схемы построены по одному принципу.

Радиально-сверлильный станок модели 2А53 показан на рис. 254. Такие станки используют для обработки отверстий в крупногабаритных и тяжелых заготовках, установка и перемещение которых на столе вертикально-сверлильных станков затруднительны или невозможны. Заготовка, закрепленная на столе радиально-сверлильного станка, остается неподвижной, а шпиндель со сверлом перемещается относительно нее и устанавливается в любом необходимом положении.

Основные узлы станка модели 2А53: На фундаментной плите 1 установлена круглая тумба 2 с неподвижной колонной, на которую надета гильза 3, имеющая возможность поворачиваться вокруг колонны. На гильзе закреплена траверса, перемещающаяся в вертикальном направлении с помощью вспомогательного электродвигателя и винта 4. Поворот колонны с траверсой осуществляется механически или вручную. Траверса 5 имеет горизонтальные направляющие, по которым перемещаются шпиндельная бабка 6 с коробкой скоростей, коробкой подач и шпинделем 7. Заготовку устанавливают либо на фундаментной плите, либо на столе станка 8.

Благодаря тому что шпиндельная бабка со шпинделем может перемещаться в горизонтальном направлении вдоль траверсы, а также вместе с ней вокруг колонны, создается возможность обработки отверстий, расположенных в любых местах заготовки. Для фиксации шпиндельной головки при сверлении закрепляют гильзу на колонне, траверсу на гильзе и шпиндельную головку на траверсе.

Многошпиндельные сверлильные станки

Станки этого типа используются только в условиях серийного, крупносерийного и главным образом массового производства.

Рядовые многошпиндельные станки имеют от 2 до 6 шпинделей. Расстояние между осями шпинделей у этих станков не изменяется. Станки применяются для последовательного сверления в одной детали нескольких отверстий различного диаметра или для обработки одного и того же отверстия последовательно различными инструментами (сверлом, зенкером, разверткой и т.д.). Рядовой многошпиндельный станок может быть заменен несколькими одношпиндельными станками, поставленными рядом.

Одновременная обработка нескольких отверстий осуществляется на станках колокольного типа. Шпиндели этих станков переставные и могут настраиваться по определенному плану обработки детали. При необходимости обработки другой детали станок заново перенастраивается.

Станки для глубокого сверления (называемые иногда токарно-сверлильными) предназначены для обработки отверстий, глубина которых больше 10 диаметров сверления. Шпиндель расположен горизонтально. Главное вращательное движение сообщается шпинделю (заготовке), движение подачи (поступательное) — режущему инструменту. Один конец заготовки крепится в патроне, другой — поддерживается люнетом; режущий инструмент крепится в заднем суппорте.

3. ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНЫЕ СТАНКИ

Расточные станки предназначены для сверления, зенкерования, развертывания и растачивания отверстий резцами в крупных тяжелых заготовках. На этих станках можно также с помощью резцов и наборов фрез обрабатывать торцовые плоскости.

Основные узлы станка модели 262Г показаны на рис. 255. На станине 1 справа установлена передняя стойка 2, на вертикальных направляющих которой смонтирована шпиндельная бабка 3 с коробкой скоростей и коробкой подач. На шпиндельной бабке смонтирована

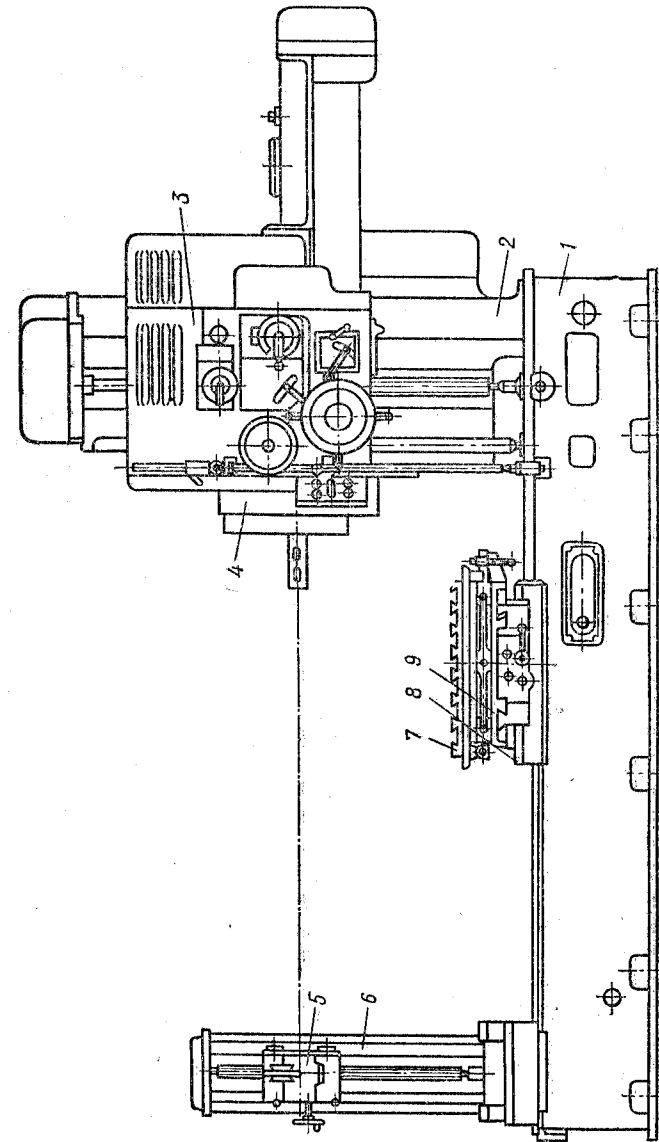


Рис. 255. Горизонтально-расточный станок модели 262Г

планшайба 4 с радиальным суппортом, несущим резец. Внутри планшайбы смонтирован расточный шпиндель, в коническое отверстие которого вставляется борштанга. Левый конец ее удерживается в люнете 5 задней стойки 6. Люнет расположен соосно со шпинделем и может перемещаться в вертикальном направлении синхронно со шпиндельной бабкой.

Для установки и закрепления заготовок служит стол 7. Он перемещается с помощью продольных 8 и поперечных 9 салазков. Верхняя часть стола поворотная. При растачивании коротких отверстий подача сообщается шпинделю. При обработке длинных и соосных отверстий с помощью борштанги подача, как правило, сообщается столу в продольном направлении. При фрезеровании торцовых плоскостей подача сообщается столу в поперечном направлении или шпиндельной бабке в вертикальном направлении.

При подрезании торцов с помощью радиального суппорта движение резания сообщается планшайбе, а перемещение суппорта в радиальном направлении (в радиальных направляющих планшайбы) служит движением подачи.

При нарезании резьбы шпинделю сообщается за один его оборот осевое перемещение, равное шагу нарезаемой резьбы. Мощность главного электродвигателя 7 кВт.

Тяжелые расточные станки (с диаметром шпинделя 125—320 мм) не имеют стола: заготовку устанавливают непосредственно на станине или плите. Продольная подача осуществляется перемещением стойки.

Координатно-расточные станки предназначены для обработки особо точных и взаимосвязанных отверстий. Они снабжаются специальными отсчетными устройствами (механическими, оптическими или электрическими), позволяющими устанавливать стол относительно шпинделя по двум координатам с точностью до 0,01—0,005 мм. Это дает возможность выдерживать заданные расстояния между отверстиями с высокой точностью.

Особенно широкое распространение эти станки нашли в инструментальных цехах для производства кондукторов, приспособлений и штампов.

Существуют одностоечные и двухстоечные координатно-расточные станки. Расточный шпиндель двухстоечного координатно-расточного станка получает вращатель-

ное и поступательное движение. Шпиндель приводится в движение от индивидуального электродвигателя, расположенного на расточной головке, которая перемещается в горизонтальном направлении по направляющим траверсы и в вертикальном — вместе с траверсой по направляющим стоек. Стол станка перемещается в продольном направлении станины. Конструкция расточного шпинделя позволяет закреплять инструменты для расточных, сверлильных и фрезерных работ.

Алмазно-расточные станки предназначаются для обработки особенно точных отверстий с весьма малой шероховатостью поверхности. Существует большое разнообразие алмазно-расточных станков. В большинстве случаев станки работают с полуавтоматическим циклом. Наиболее широкое распространение эти станки получили в автотракторной и моторостроительной промышленности для растачивания блоков цилиндров, гильз, шатунов и других работ.

4. НАЛАДКА СТАНКОВ

Режущие инструменты с коническим хвостовиком (сверла, зенкеры, развертки) закрепляют в шпинделе станка либо непосредственно (рис. 256, а), либо через переходную втулку (рис. 256, б), если размер конуса хвостовика инструмента меньше конусного отверстия шпинделя, а также с помощью патронов.

На рис. 256, в показан быстросменный патрон, позволяющий сменить инструмент на ходу станка. Для закрепления заготовок применяют универсальные приспособления типа машинных тисков, угольников, кронштейнов и др.

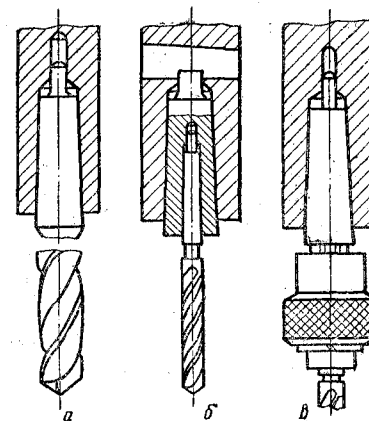


Рис. 256. Способы закрепления инструментов в шпинделе сверлильного станка

Для увеличения производительности труда и повышения точности обработки применяют кондукторы. Они служат для направления сверл, зенкеров и разверток при помощи сменных направляющих кондукторных втулок, изготовленных из закаленной инструментальной стали. Положение втулок в кондукторе определяет место отверстий в обрабатываемой заготовке. Применение кондукторов позволяет отказаться от разметки заготовок.

Для одновременной обработки нескольких отверстий на одношпиндельном вертикально-сверлильном станке применяют многшпиндельные головки. В массовом и крупносерийном производстве применяют для этих целей специальные многшпиндельные полуавтоматы.

Глава VIII

ОБРАБОТКА НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Фрезерование — высокопроизводительный процесс обработки плоскостей, фасонных и винтовых поверхностей многолезвийными инструментами — фрезами.

При фрезеровании инструмент совершает главное вращательное движение резания (рис. 257, а). Поступательное движение подачи имеет заготовка, закрепленная на столе станка. При резании наблюдается сложная траектория относительного движения режущих элементов — циклоида, а поперечное сечение срезаемого слоя изменяется за время цикла работы зуба фрезы.

Процесс резания для каждого зуба фрезы прерывистый, что приводит к циклическим сменам контактных и термических напряжений.

Скорость резания определяют из выражения

$$v = \frac{\pi D n}{1000},$$

где D — наружный диаметр фрезы;
 n — число ее оборотов в минуту.

Подача s — величина перемещения заготовки относительно вращающейся фрезы.

При фрезеровании различают: s_z — подачу на зуб — перемещение изделия за время поворота фрезы на угол между двумя соседними зубьями; s_0 — подачу на оборот или перемещение изделия за один оборот фрезы ($s_0 = s_z Z$), где Z — общее число зубьев фрезы; $s_{\text{мин}}$ — минутную подачу или перемещение изделия за одну минуту ($s_{\text{мин}} = s_z Z n$); t — глубину резания — расстояние меж-

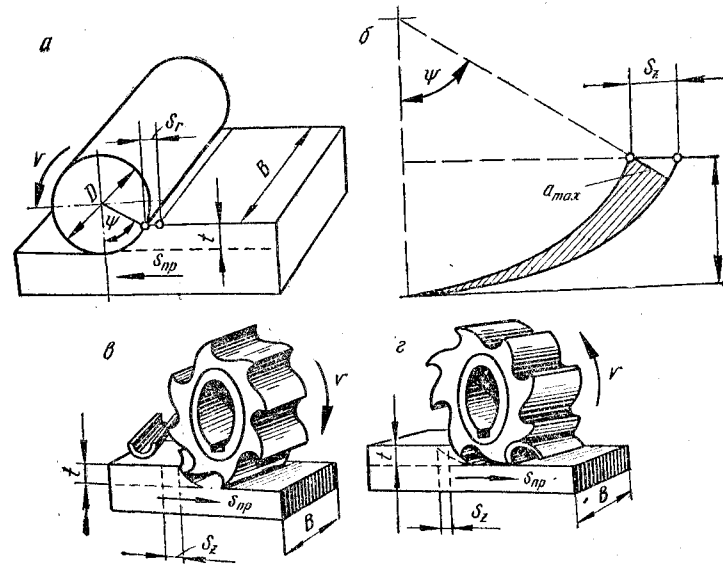


Рис. 257. Схема работы цилиндрической фрезы и элементы резания

ду обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное в направлении, перпендикулярном оси вращения фрезы.

Ширину фрезерования B измеряют в направлении, параллельном оси вращения фрезы. Полным или наибольшим углом контакта ψ (рис. 257, б) называют центральный угол между радиусами, проведенными в точки входа и выхода зуба фрезы из контакта с заготовкой. Толщина срезаемого слоя для одного зуба фрезы, как видно из схемы на рис. 257, б, является переменной величиной и измеряется на продолжении радиуса как расстояние между двумя последовательными положениями зуба фрезы.

При работе цилиндрической фрезой в зависимости от направлений вращения фрезы и подачи заготовки различают встречное фрезерование, когда движение подачи направлено навстречу вращательному движению фрезы (рис. 257, в), и попутное (рис. 257, г), при котором направление вращения фрезы совпадает с направлением подачи. При встречном фрезеровании нагрузка на зуб возрастает постепенно. Встречное фрезерование применяют при черновой обработке заготовок с литевой коркой, окалиной. Недостатком этого способа является проскальзывание зуба фрезы на участке врезания, что ухудшает чистоту обработанной поверхности и ускоряет износ зубьев. Кроме того, фреза стремится оторвать заготовку от стола и требуется более жесткое крепление ее к столу.

Попутное фрезерование, как правило, используется при чистовом фрезеровании, так как в этом случае лучшие условия врезания, изделие прижимается к столу, но требуются специальные устройства для выборки зазоров в механизме подачи стола.

2. ТИПЫ ФРЕЗ

Фрезы классифицируют по их технологическому назначению, положению оси относительно обрабатываемой поверхности заготовки, способу закрепления на стенке, расположению зубьев относительно оси вращения фрезы, форме режущего лезвия.

Наиболее распространенные типы фрез показаны на схемах обработки поверхностей заготовок на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках (рис. 258); цилиндрическая (а), торцовая (б) для обработки плоскостей; дисковые (в—д), отрезные, прорезные для обработки уступов, пазов, разрезания; концевые (е, ж) для обработки уступов, плоскостей, пазов; угловые (з) для обработки канавок углового профиля; фасонные (и, к) для обработки фасонных поверхностей.

Элементы фрезы и геометрия ее режущих лезвий показаны на примере насадной прямозубой цилиндрической фрезы (рис. 259, а).

Фрезы изготавливают с остроконечными (рис. 259, б) и затылованными (рис. 259, в) зубьями. У последних спинка зуба — задняя поверхность — описывается по

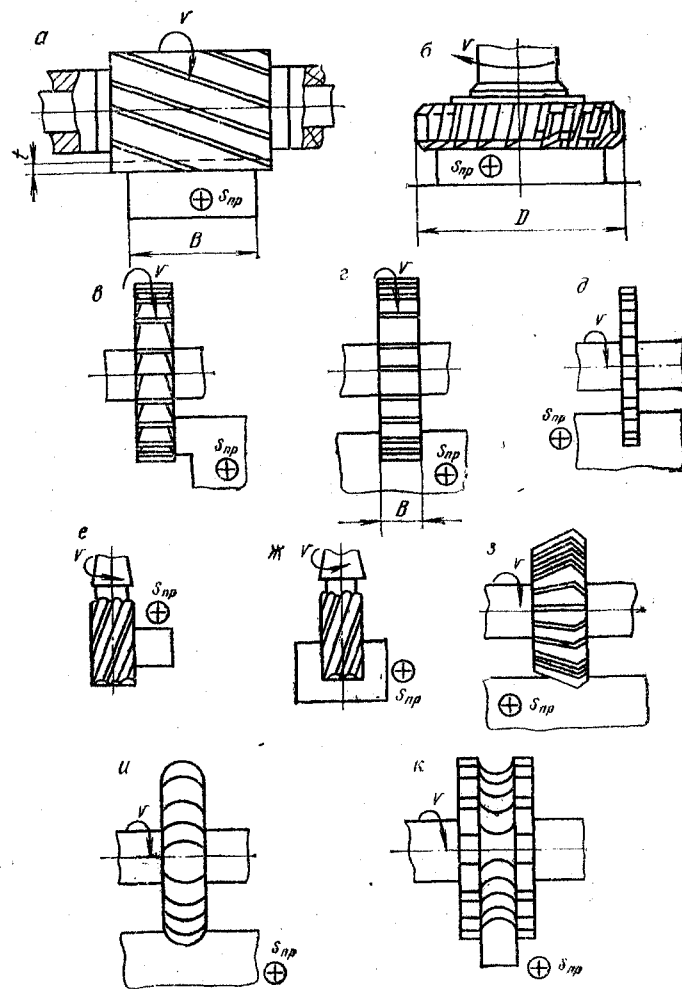


Рис. 258. Фрезы и схемы обработки поверхностей и заготовок на фрезерных станках

сложной кривой. Это делают для того, чтобы сохранить фасонный профиль режущих лезвий при последующих переточках фрезы. Переточку затылованных фрез проводят по передней поверхности. Однако в связи с тем, что

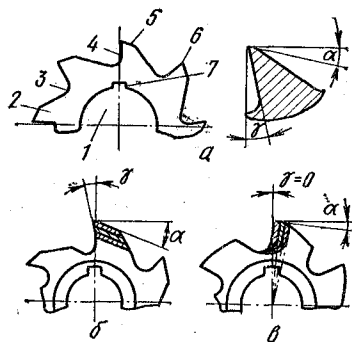


Рис. 259. Элементы и геометрия режущей части фрезы:

1 — отверстие со шпоночным пазом для закрепления фрезы на оправке; 2 — зуб фрезы; 3 — канавка; 4 — передняя поверхность; 5 — режущее лезвие; 6 — вершина зуба; 7 — шпоночный паз

износ зубьев фрез преобладает по задней поверхности, при переточках снимают значительный слой материала инструмента, что делает эти фрезы менее долговечными.

3. ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

Фрезерные станки разделяют на станки общего назначения и специальные. К фрезерным станкам общего назначения относят наиболее распространенные консольные, которые в свою очередь делят на горизонтально- и вертикально-фрезерные в зависимости от положения оси вращения шпинделя.

Горизонтально-фрезерный станок называют универсальным, если продольный стол можно повернуть относительно вертикальной оси; его называют широкоуниверсальным, если он имеет дополнительную фрезерную головку, шпиндель которой можно установить под углом относительно вертикальной оси. В качестве представителей консольно-фрезерных станков ниже дано описание станков моделей 6М82 и 6Н12.

Универсальный горизонтально-фрезерный станок 6М82. Предназначен для фрезерования относительно небольших заготовок цилиндрическими, дисковыми, угловыми и фасонными фрезами в единичном и серийном производстве.

Наличие поворотного стола позволяет фрезеровать винтовые канавки и поверхности с помощью делительной головки. Общий вид станка показан на рис. 260. На фундаментной плите 1 закреплена станина 2. Внутри

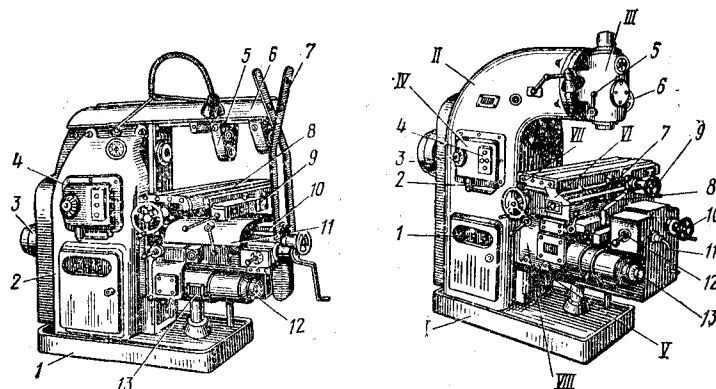


Рис. 260. Горизонтально-фрезерный станок модели 6М82

Рис. 261. Вертикально-фрезерный станок модели АН12

станины расположен электродвигатель 3, который через коробку скоростей 4 передает главное вращательное движение шпинделю станка. На вертикальных направляющих станины установлена консоль 10, которая может перемещаться в вертикальной плоскости и жестко закрепляться на направляющих.

На горизонтальных направляющих консоли установлены поперечные салазки 11, поворотная плита 9, а в направляющих поворотной плиты продольный стол 8. Привод подачи размещен в консоли и состоит из электродвигателя 12 и коробки подач 13. Для поддержания свободного (правого) конца оправок служит подшипник подвески 5, которая установлена в направляющих хобота 6, закрепленного на верхней части станины. Хобот поддерживается двумя кронштейнами 7, нижние концы которых связаны с консолью.

Мощность двигателя 7 кВт; шпиндель имеет 18 чисел оборотов (от 30 до 1500 об/мин). Стол станка имеет 18 продольных и поперечных подач (от 23,5 до 1180 мм/мин), а вертикальных — в пределах 8—390 м/мин.

Вертикально-фрезерный станок 6Н12. Предназначен для фрезерования поверхностей заготовок среднего размера и массы в условиях единичного и серийного производства торцовыми, концевыми и пальцевыми фрезами, а также фрезерными головками. Общий вид станка приведен на рис. 261.

На фундаментной плите *I* установлена станина *II*. В верхней части станины находится шпиндельная головка *III* с вертикальной осью вращения шпинделя.

Главное вращательное движение шпиндель получает от расположенного в станине электродвигателя через коробку скоростей *IV*. Консоль *V* установлена на вертикальных направляющих станины и может перемещаться по ним в вертикальном направлении. По направляющим консоли перемещаются поперечные салазки *VI*, а по последним стол *VII*. Внутри консоли расположена коробка подач *VIII*.

Электрическая цепь станка включается и выключается с пульта пакетным выключателем *1*. Вращение шпинделя переключается рукояткой *2*, а число оборотов его изменяют рукояткой *3*. Включение и выключение электродвигателей производятся кнопочной станцией *4*.

Для установки и фиксации шпинделя в вертикальном положении служат маховичок *6* и рукоятка *5*. Рукоятка *7* служит для управления продольными подачами стола. Кроме того, имеются рукоятки ручных перемещений стола *8—11*, а также рукоятка управления поперечной подачей стола *12* и грибок для установки и переключения подачи *13*. Электродвигатель главного движения имеет мощность 10 кВт. Коробка скоростей позволяет получить 18 чисел оборотов (от 630 до 3150 об/мин). Коробка подач обеспечивает 18 продольных подач (от 40 до 2000 мм/мин), поперечных — от 27 до 1330 мм/мин и вертикальных — от 13 до 665 мм/мин. Станок имеет ускоренные перемещения стола. Мощность электродвигателя привода подач 1,7 кВт.

К станкам общего назначения относят также бесконсольно-вертикальные фрезерные станки (рис. 262, *a*). Стол станка имеет два взаимно перпендикулярных движения, которые могут совершаться как с рабочей подачей, так и в режиме установочных быстрых ходов. Вертикальное перемещение совершает шпиндельная бабка. Кроме того, шпиндель совершает осевое перемещение.

Шпиндельная бабка поворачивается в вертикальной плоскости для обработки наклонных плоскостей с поперечной подачей. Эти станки более жесткие и произво-

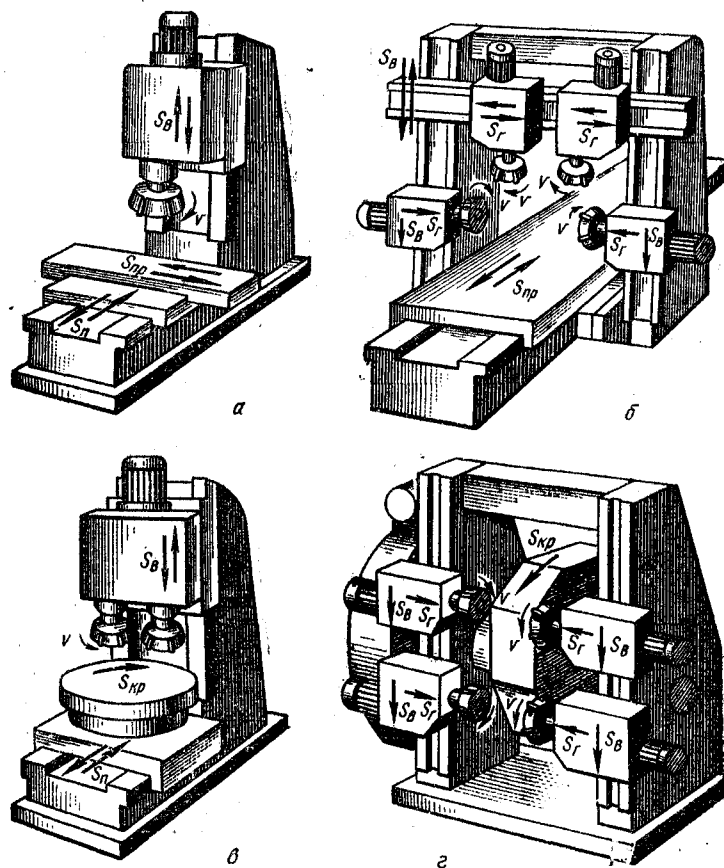


Рис. 262. Принципиальные схемы фрезерных станков:

a — бесконсольного вертикально-фрезерного; *б* — продольно-фрезерного; *в* — карусельно-фрезерного; *г* — барабано-фрезерного

длительные, чем консольные, однако они менее удобны в обслуживании.

Продольно-фрезерные станки (рис. 262, *б*) относят к станкам общего назначения. Стол монтируется на

станине и имеет только продольное перемещение. Остальные перемещения (поперечное и вертикальное) совершают шпиндельные бабки, расположенные на траверсе и на вертикальных стойках.

Эти станки предназначены для обработки плоскостей крупных заготовок. Наиболее распространенным видом обработки является работа с продольной подачей стола при неподвижных шпиндельных бабках. При этом можно обрабатывать заготовку одновременно с трех сторон. Шпиндели станка имеют индивидуальные приводы.

Предусматривается также и обработка неподвижной детали с подачей шпиндельных бабок по вертикальным направляющим стоек и горизонтальным направляющим траверсы. Траверса имеет установочное перемещение в вертикальной плоскости. Во время работы она неподвижна. На рис. 262, в—г показаны схемы карусельно-фрезерного и барабанно-фрезерного специальных станков. На этих станках торцовыми фрезами обрабатывают плоские поверхности заготовок в массовом и крупносерийном производстве. Заготовки в специальных быстродействующих приспособлениях крепят на столе или барабане, которые медленно вращаются, совершая круговое движение подачи. Обычно в этих случаях совмещаются черновая и чистовая обработки. Высокая производительность станков обеспечивается их непрерывным действием, так как установка и снятие детали осуществляются без остановки станка.

4. ВИДЫ ФРЕЗЕРНЫХ РАБОТ

Горизонтальные плоские поверхности фрезеруют на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках цилиндрическими и торцовыми фрезами. При обработке широких заготовок более производительнее работают торцовые фрезы. При больших диаметрах эти фрезы изготавливают сборными — со вставными зубцами, чаще всего твердосплавными.

Вертикальные поверхности фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках дисковыми двух- и трехсторонними фрезами (рис. 263, а), на продольно-фрезерных станках — торцовыми фрезами (рис. 263, б), а также концевыми фрезами на вертикально-фрезерных станках (рис. 263, в). Наклонные поверхности фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках угловыми фрезами

(рис. 263, г) либо торцовыми фрезами на вертикально-фрезерных и продольно-фрезерных станках с повернутым шпинделем (рис. 263, д).

Уступы, пазы и канавки фрезеруют на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами или на горизонтально-фрезерных станках дисковыми двух- и трехсто-

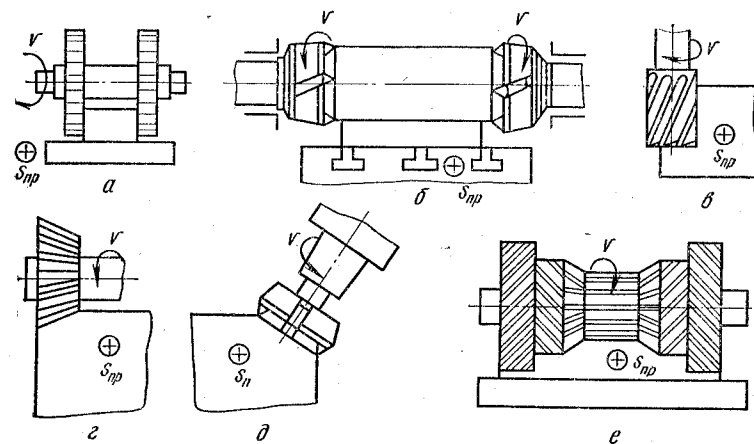


Рис. 263. Схемы фрезерования плоских поверхностей

ронными фрезами. Фасонные поверхности фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках специальными фасонными фрезами или наборами стандартных фрез (рис. 263, е). Отрезные работы и прорезание шлицев (канавок) в головках винтов и в гайках проводят точными дисковыми фрезами.

5. ФРЕЗЕРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК

Делительные головки применяют для периодического поворота обрабатываемой заготовки на любые равные и неравные части окружности, что позволяет фрезеровать зубчатые колеса с прямыми зубьями, шестигранники, шлицевые валики и т. д.

Их используют также для передачи непрерывного вращательного движения заготовке, согласованного с

подачей стола так, что на наружных поверхностях заготовок образуются винтовые канавки или винтовые поверхности. Если шпиндель делительной головки повернуть относительно стола в вертикальной плоскости, то можно обрабатывать конические зубчатые колеса, ци-

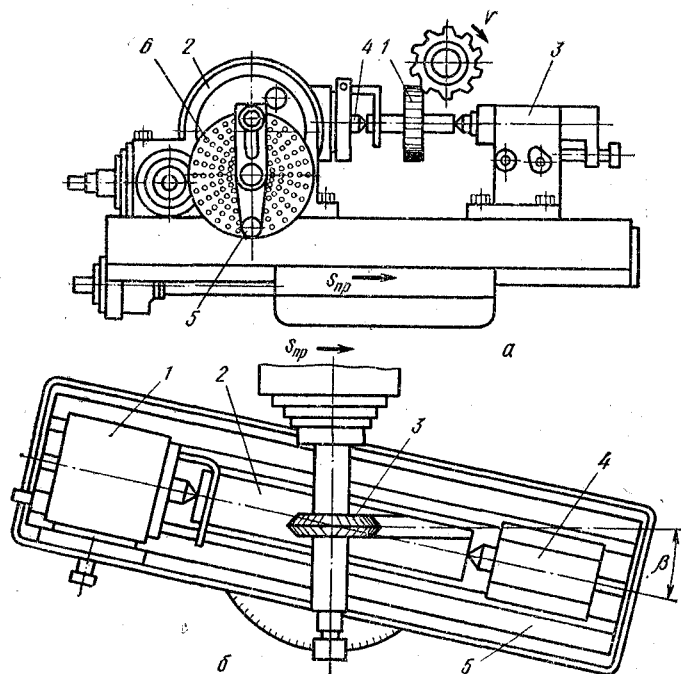


Рис. 264. Обработка заготовок с помощью делительной головки

линдрические зубчатые колеса больших диаметров, конические развертки.

На рис. 264, а показана схема обработки зубчатого колеса с использованием делительной головки. Заготовка 1 закреплена на оправке в центрах шпинделя делительной головки 2 и задней бабки 3. Прорезание впадины колеса проводят дисковой модульной фрезой, которая совершает главное вращательное движение резания,

а стол совершает движение подачи. После обработки очередной впадины между зубьями стол возвращают в исходное положение, а заготовку с помощью делительной головки поворачивают на угол, соответствующий шагу зубьев зубчатого колеса.

Поворот заготовки, соединенной с помощью поводкового патрона со шпинделем 4, совершают рукояткой 5; положение этой ручки фиксируется в одном из концентрически расположенных отверстий лимба 6, в которое вводится пружинный фиксатор. Таких дисков с различным количеством рядов-отверстий к головке приложено несколько. Угол поворота заготовки зависит от числа полных оборотов и доли оборота рукоятки с фиксатором.

На рис. 264, б показана схема фрезерования винтовой канавки с помощью делительной головки.

Заготовка 2, установленная в центрах делительной головки 1 и задней бабки 4, вместе со столом 5 поворачивается на угол, равный углу наклона винтовой канавки. Заготовке сообщается непрерывное вращение от шпинделя делительной головки, соединенного с винтом продольной подачи стола сменными колесами. Общее передаточное отношение сменных зубчатых колес определяют из условия, чтобы за время одного полного оборота заготовки относительно ее оси стол станка, на котором закреплена заготовка, переместился на величину шага фрезеруемой винтовой канавки.

Глава IX

ЗУБОНАРЕЗАНИЕ

1. МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ КОЛЕС

Различают два основных метода профилирования боковых поверхностей зубьев зубчатых колес: метод копирования и метод обкатки (огибания).

Метод копирования заключается в прорезании впадины фасонным инструментом, форма режущих лезвий которого соответствует очертанию впадины между двумя соседними зубьями зубчатого колеса. В качестве примера на рис. 265, а показано фрезерование впадины дисковой модульной фрезой на горизонтально-фрезерном

станке, а на рис. 265, б — пальцевой модульной фрезой на вертикально-фрезерном станке.

Недостатками метода копирования являются: ограниченное количество фрез в комплекте, так как для каждого модуля необходимо иметь от 8 до 26 фрез в зависимости от требований к точности профиля и числа зубьев нарезаемого колеса; искажение профиля зуба при

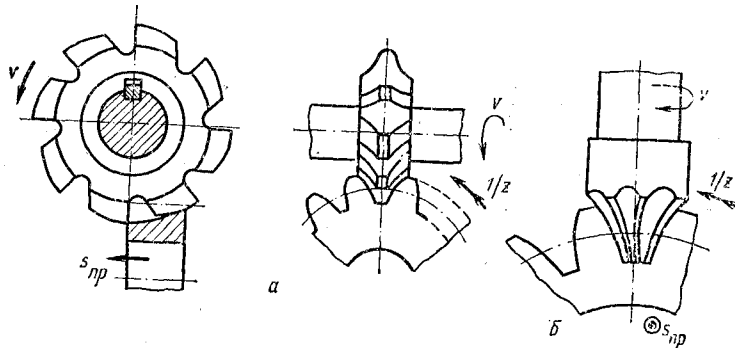


Рис. 265. Схемы фрезерования зубьев зубчатых колес методом копирования

нарезании косозубых колес; низкая производительность в связи с периодическим возвратом заготовки в исходное положение и делительным движением. Этот метод используют для нарезания зубчатых колес в единичном производстве, а также для нарезания крупномодульных колес или колес большого диаметра.

Метод огибания. При нарезании зубчатых колес методом огибания профиль режущих лезвий инструмента не совпадает с профилем нарезаемых зубьев колеса, а отвечает профилю зубьев некоторого зубчатого колеса или рейки, называемых производящим колесом или рейкой, с которыми нарезаемое колесо находится в зацеплении.

В результате согласованных движений инструмента и заготовки на последней нарезаются зубья с профилем огибающей кривой к ряду последовательных положений режущих лезвий инструмента. Чем больше этих относительных положений режущих лезвий приходится на образование профиля, тем ближе профиль нарезаемого колеса соответствует теоретическому.

Метод огибания по сравнению с методом копирования имеет следующие преимущества:

1. Одним и тем же инструментом данного модуля можно нарезать зубчатые колеса с любым числом зубьев.
2. Обеспечивается более высокая точность и чистота поверхности зубьев нарезаемого колеса.
3. Достигается более высокая производительность обработки благодаря непрерывности процесса и участию в работе одновременно большого количества режущих лезвий.
4. Возможна автоматизация процесса.

Нарезание зубьев по методу обкатки цилиндрических зубчатых колес с прямыми или косыми зубьями производят либо методом зубофрезерования червячными модульными фрезами, либо методом зубодолбления зуборезными долбьяками. Конические зубчатые колеса изготавливают на зубострогальных станках.

2. ЗУБОФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

Эти станки предназначены для нарезания цилиндрических зубчатых колес с прямыми и косыми зубьями, а также червячных зубчатых колес методом обкатки (огибания) червячными модульными фрезами. Работа зубофрезерных станков основана на принципе воспроизведения в процессе резания относительных движений элементов червячной передачи, в которой червяком является червячная модульная фреза, а червячным колесом — нарезаемая заготовка.

Согласование движений фрезы и заготовки заключается в том, что за один оборот однозаходной фрезы виток ее перемещается относительно нарезаемого колеса на один шаг, и поэтому колесо должно также повернуться на один шаг.

Принципиальная схема указанного согласования движения показана на рис. 266. Заготовка 2 через стол станка жестко связана с делительным червячным колесом 1, которое получает вращение от червяка 5, связанного с червячной фрезой 3 сменными колесами 4, набором которых и осуществляется согласование движений. Червячная фреза совершает главное вращательное движение резания. Вращение заготовки, согласованное с вращением фрезы, осуществляет процесс формирования

боковых поверхностей зубьев зубчатого колеса зубьями фрезы через делительную кинематическую цепь зубо-фрезерного станка (рис. 267, а).

На рис. 267 показаны схемы нарезания прямозубого (рис. 267, б), косозубого (рис. 267, в) и червячного колеса (рис. 267, г).

Для образования профиля по длине зуба при нарезании цилиндрических прямозубых и косозубых (винтовых) колес фрезе сообщается поступательное движение вертикальной подачи вдоль оси нарезаемой заготовки.

При нарезании червячных колес заготовка имеет горизонтальное движение подачи. Изменяя профиль червячной фрезы, на зубофрезерных станках можно обрабатывать шлицевые валы, храповые колеса, зубья звездочек цепных передач.

Зубофрезерный полуавтомат модели 5Д32.

Общий вид полуавтомата показан на рис. 268. На

станции 1 смонтирована подвижная стойка 8 с вертикальными направляющими, по которым перемещается фрезерный суппорт 6, выполняющий движение вертикальной подачи при нарезании цилиндрических колес. При нарезании червячных колес методом тангенциальной подачи с помощью специальной фрезы используют протяжную суппорт 7. На круглых направляющих станины вращается стол 2. Слева от стола на станине закреплена стойка 3 с поддерживающим кронштейном 4, создающим вторую опору оправке, на которой закрепляют заготовку. Стойка 3 соединена с подвижной стойкой 8 поперечиной 5, что увеличивает жесткость системы. При работе с горизонтальной подачей стола поперечина открепляется.

На рис. 268 показаны также рукоятка включения и выключения рабочих подач 11, рукоятка включения подачи при работе с протяжным суппортом 16, кнопочная станция 9, рукоятка включения вертикальной подачи фрезерного суппорта 10, рукоятки ручного вертикально-

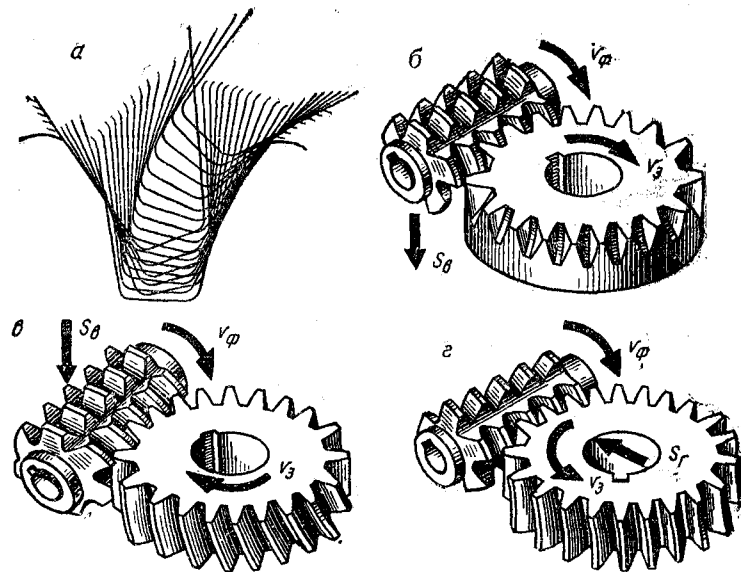


Рис. 267. Схемы нарезания зубчатых колес червячной модульной фрезой

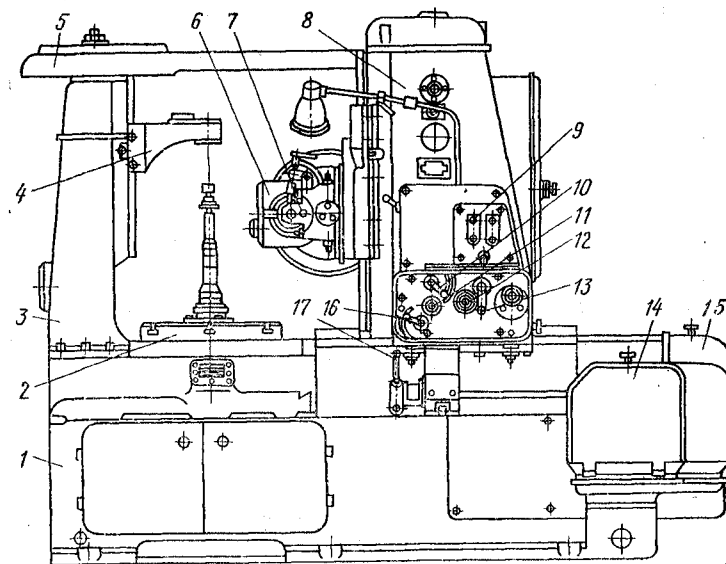


Рис. 268. Зубофрезерный полуавтомат модели 5Д32

го 17 и горизонтального 12 перемещения подвижной стойки, рукоятка включения радиальной подачи стола 13.

Фрезерный шпиндель получает вращение от электродвигателя 15 мощностью 2,8 кВт; числа оборотов шпинделя изменяются в пределах от 0,5 до 3,0 мм/об, а радиальная подача — в пределах от 0,1 до 1,0 мм/об с помощью сменных колес 14.

3. ЗУБОДОЛБЕЖНЫЕ СТАНКИ

Предназначены для нарезания цилиндрических прямозубых колес наружного и внутреннего зацепления зуборезными долбяками. При наличии дополнительных устройств на станках можно нарезать колеса с винтовыми (косыми) зубьями.

Обкатка в случае использования долбяка заключается в том, что в процессе обработки воспроизводится зацепление двух цилиндрических зубчатых колес, одно из которых является режущим инструментом — долбяком, а второе — заготовкой. Долбяку и заготовке сообщается движение обкатки, соответствующее вращению двух зубчатых колес, находящихся в зацеплении, скорости которых согласованы так, что за время поворота долбяка на один зуб нарезаемое колесо повернется также на один зуб.

Одновременно для осуществления процесса резания инструменту-долбяку сообщается прямолинейное возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки.

На рис. 269 показаны схемы нарезания зубчатых колес на зубодолбежном станке: нарезание зубчатого колеса внутреннего зацепления (рис. 269, а), нарезание цилиндрического прямозубого колеса (рис. 269, б), нарезание зубчатого сектора (рис. 269, в), нарезание блока зубчатых колес (рис. 269, г).

Зубодолбежный станок модели 514 (рис. 270). Основные узлы станка: нижняя 1 и верхняя 2 станины, на которых смонтированы шпиндельная головка 7 и кривошипно-шатунный механизм 3 привода шпинделя с долбяком, механизм радиальной подачи 9 шпиндельной головки и стол станка 12, на котором крепят заготовку.

На рис. 270 показаны рукоятка ручного перемещения шпиндельной головки 4, рукоятка ручного поворота дол-

бяка и заготовки 5, рычаг для реверсирования вращения долбяка и заготовки 6, кнопочная станция 8, рычаг включения радиальной подачи долбяка 10, рукоятка ручного поворота кулачка радиальной подачи долбяка 11.

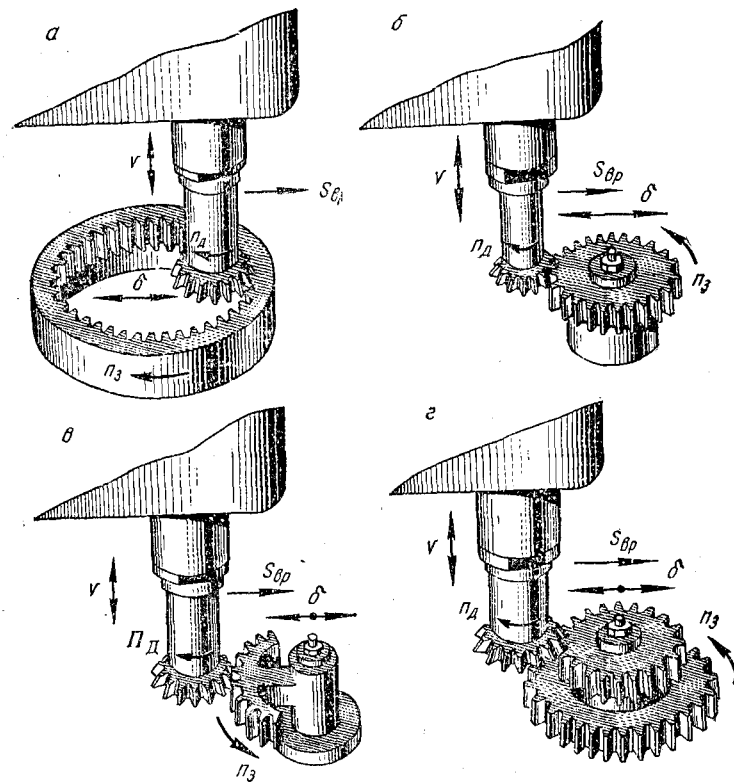


Рис. 269. Схемы нарезания зубчатых колес зуборезным долбяком

Главное движение резания — прямолинейное возвратно-поступательное движение шпинделя с долбяком: вниз — рабочий ход, вверх — холостой ход. Это движение осуществляется от двигателя мощностью 2,2 кВт через клиноремennую передачу, коробку скоростей, кривошипно-шатунный механизм, зубчатый сектор и кольцевую рейку, расположенную на шпинделе (штосселе).

Шпиндель имеет четыре числа двойных ходов в минуту в пределах от 125 до 359 двойных ходов/мин.

Делительная цепь станка согласовывает вращение долбяка и нарезаемого колеса; цепь круговых подач связывает вращение долбяка с его возвратно-поступатель-

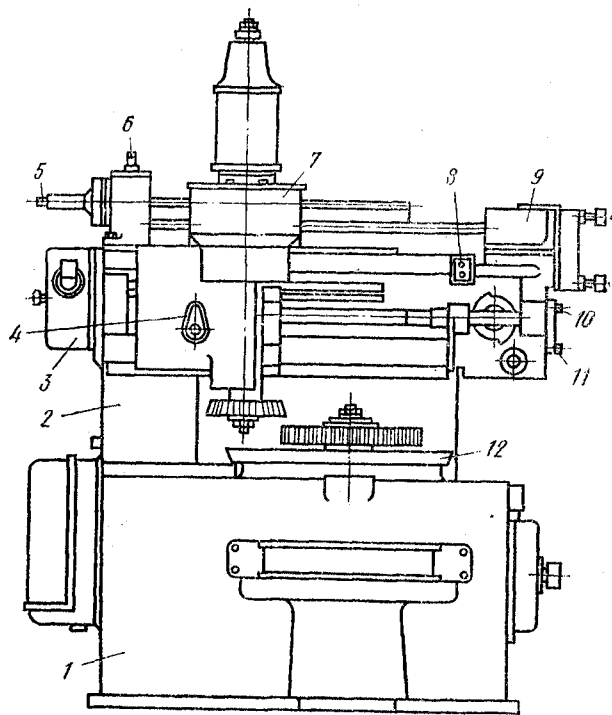


Рис. 270. Зубодолбежный станок модели 514

ным движением. Круговая подача изменяется в пределах от 0,14 до 0,44 мм/двойных ходов.

Цепь радиальных подач связывает вращение специального кулачка с возвратно-поступательным движением долбяка. Заданную величину радиальной подачи получают через ряд постоянных передач и гитару сменных колес. Специальный кулачок позволяет выключать радиальную подачу после достижения долбяком заданной глубины резания, затем заготовка делает один полный

оборот, в течение которого нарезаются зубья на заготовке. В зависимости от величины модуля нарезаемого колеса обработку ведут за один, два или три прохода.

Глава X

ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА СТРОГАЛЬНЫХ И ДОЛБЕЖНЫХ СТАНКАХ

1. ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ ПРИ СТРОГАНИИ И ДОЛБЛЕНИИ

Строганием называют метод обработки плоских и фасонных поверхностей, канавок, пазов, выемок различных профилей при прямолинейном возвратно-поступательном движении инструмента или заготовки.

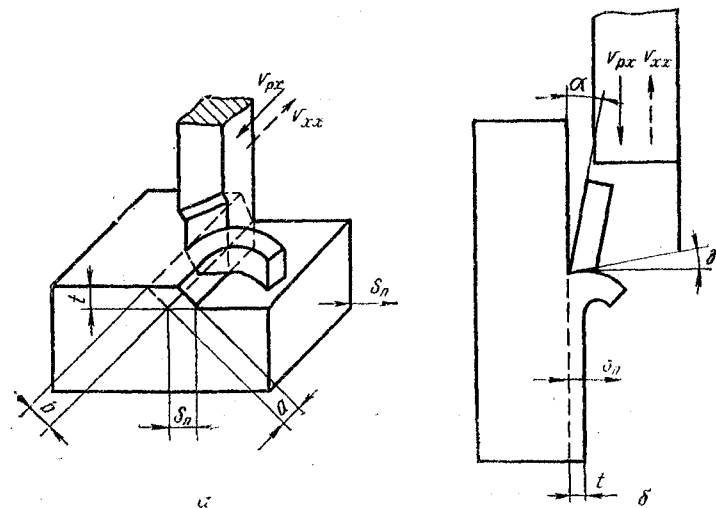


Рис. 271. Схемы процессов резания при строгании (а) и долблении (б)

Процесс резания при строгании прерывистый. Резец совершает попеременно рабочий и холостой ход, что снижает производительность обработки по сравнению с фрезерованием. Динамическая нагрузка на инструмент ограничивает величину скоростей резания. Увеличение

нагрузок на узлы станка наблюдается в момент реверсирования движения.

Скоростью резания при строгании является скорость рабочего хода, при которой происходит процесс резания. В зависимости от конструкции станка она может быть постоянной или переменной. Прерывистое движение подачи на каждый двойной ход сообщается столу с заготовкой или резцу. Разновидностью строгальных станков являются долбежные станки, у которых главное движение совершается в вертикальной плоскости. На долбежных станках обрабатывают шпоночные пазы, канавки, фасонные поверхности.

На рис. 271 показана схема процесса резания на строгальном и долбежном станках.

2. УСТРОЙСТВО СТРОГАЛЬНЫХ И ДОЛБЕЖНЫХ СТАНКОВ

К строгальным станкам относятся поперечно-строгальные, продольно-строгальные и долбежные станки. Кроме того, имеются специализированные станки, например кромко-строгальные, фасонно-строгальные и др. Поперечно-строгальные станки в зависимости от конструкции привода механизма главного движения делят на кулисные, шестеренчатые (реечные), гидравлические и кривошипные. Продольно-строгальные станки делят на одностоечные и двухстоечные.

Поперечно-строгальный станок модели 736. Предназначен для обработки плоских, фасонных поверхностей и пазов у заготовок малых и средних размеров в условиях единичного и мелкосерийного производства. Чаще всего применяют в инструментальных и ремонтных цехах. Общий вид станка показан на рис. 272.

Главное возвратно-поступательное движение резания совершает ползун 2, который перемещается по верхним направляющим станины 1. Ползун получает движение от электродвигателя мощностью 3,5 кВт через коробку скоростей с шестью ступенями чисел оборотов и кулисный механизм, преобразующий вращательное движение в возвратно-поступательное движение ползуна с резцом. Длина хода ползуна и его положение относительно стола (заготовки) регулируются. Ползун имеет числа двойных ходов от 10,5 до 50 дв. ход/мин.

Скорость резания — переменная. Она изменяется от нуля до максимума и затем снова до нуля в конце каждого хода. Среднюю рабочую скорость резца определяют по формуле

$$v_p = \frac{Ln(1-m)}{1000},$$

где L — величина хода ползуна;
 n — число двойных ходов ползуна в минуту;
 m — отношение скорости рабочего хода ползуна к скорости холостого хода. Для поперечно-строгальных станков $m \approx 0,75$.

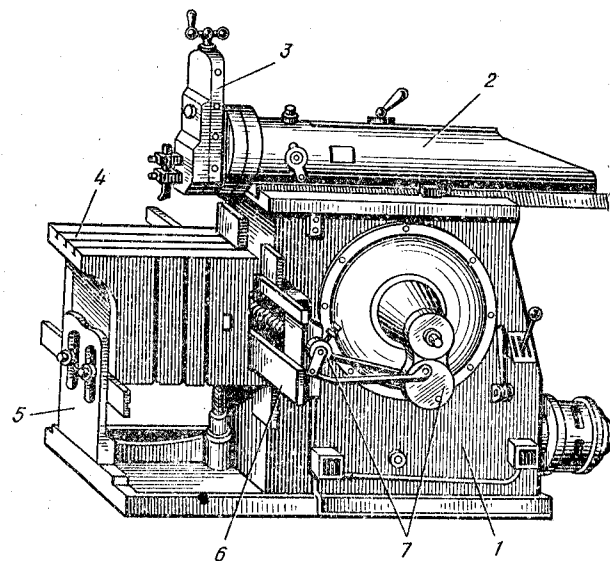


Рис. 272. Поперечно-строгальный станок модели 736

На левом торце ползуна установлен суппорт 3. Суппорт можно перемещать вручную в вертикальной плоскости. При обработке наклонных плоскостей суппорт поворачивают на угол наклона плоскости.

Резцедержатель крепится на откидной планке, которая позволяет резцу отклоняться при обратном холостом ходе, что уменьшает его износ по задней поверхности.

На вертикальных направляющих станины установле-

на поперечина (траверса) 6, по которой в горизонтальной плоскости перемещается (движение подачи) стол 4. Движение подачи осуществляется периодически в конце каждого холостого хода, когда резец выходит из контакта с заготовкой. Это движение передается от вала кулисной передачи через зубчатую передачу, кривошипно-шатунный механизм 7, храповой механизм, винт поперечной подачи стола с заготовкой. В зависимости от

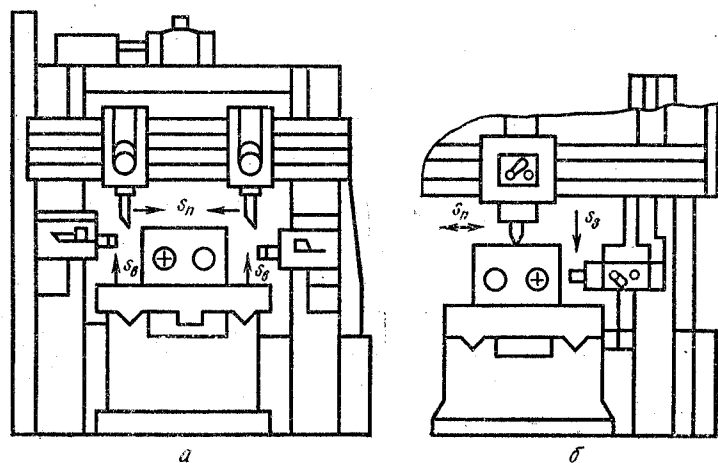


Рис. 273. Принципиальные схемы продольно-строгальных станков

настройки храпового механизма получают необходимую величину подачи.

Стол 4 имеет Т-образные пазы, в которых устанавливают поворотные тиски или другие устройства для закрепления заготовок. Для большей жесткости стол дополнительно закрепляют стойкой 5, связанной с фундаментной плитой. Продольно-строгальные станки предназначены для черновой и чистовой обработки крупных деталей.

Для этих станков характерно возвратно-поступательное движение стола — главное движение резания. Скорость стола во время рабочего хода постоянна.

Как правило, станки имеют несколько суппортов, которые совершают прерывистое поперечное перемещение — подачу.

На рис. 273 показаны принципиальные схемы продольно-строгальных станков, которые могут быть двухстоечными (а) и одностоечными (б).

Долбежные станки. Долбежные станки применяются для обработки шпоночных пазов и различных фасонных отверстий в условиях единичного и мелкосерийного производства. Движение резания у станков — возвратно-поступательное, движение долбяка (рис. 271) — по направляющим станины. Движение подачи сообщается столу, на котором устанавливается и закрепляется обрабатываемая деталь. При обработке плоскостей стол получает продольное или поперечное перемещение, а при обработке цилиндрических участков поверхностей — круговое движение подачи. Главное возвратно-поступательное движение осуществляется с помощью гидравлического привода или кривошипно-кулисного механизма.

Глава XI

ОБРАБОТКА НА ПРОТЯЖНЫХ СТАНКАХ

1. ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ

Протягивание — высокопроизводительный метод обработки внутренних и наружных поверхностей многолезвийными инструментами — протяжками. Широко применяют на заводах массового и крупносерийного производства.

Протягивание осуществляется при прямолинейном поступательном главном движении резания. Припуск при протягивании срезается за один (редко два — три) рабочий ход инструмента. В резании одновременно участвует несколько режущих зубьев протяжки. Протяжка (прошивка) — это стержень, на котором расположен ряд зубьев, имеющих режущие лезвия. Протяжку протягивают через предварительно подготовленное отверстие, и тело ее работает на растяжение. Прошивку проталкивают сквозь отверстие, и она работает на сжатие.

Протяжки работают по разным схемам срезания припуска. Профильная схема резания предусматривает снятие каждым зубом протяжки стружки по всему периметру обрабатываемой поверхности. Стружка получает-

ся тонкая и широкая, плохо размещается в стружечной канавке.

При работе по прогрессивной схеме резания срезаемый слой разделяется по периметру между зубьями нескольких секций, срезающих стружку относительно большой толщины по небольшой ширине. Как известно, более толстые и менее широкие стружки срезаются легче. Протяжки обладают большей стойкостью, однако

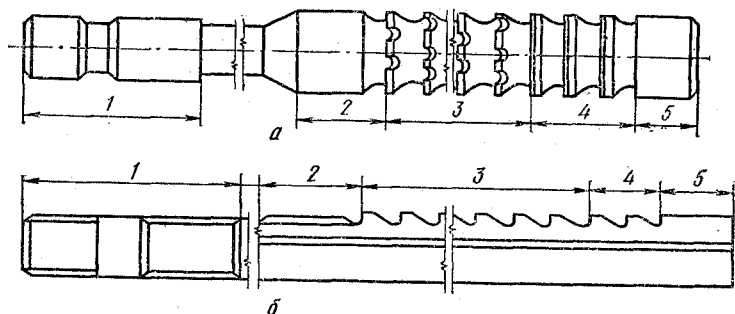


Рис. 274. Конструкция цилиндрической (а) и шпоночной (б) протяжек

конструкция и изготовление их сложнее, чем протяжек, работающих по профильной схеме резания. В зависимости от формы обрабатываемого отверстия или наружной поверхности различают протяжки круглые, шлицевые, шестигранные, шпоночные и др.

Рассмотрим круглую протяжку (рис. 274, а) для обработки цилиндрического отверстия и шпоночную (рис. 274, б). Они состоят из следующих частей. Хвостовик 1 служит для закрепления протяжки в патроне протяжного станка. Передняя направляющая часть 2 служит для центрирования заготовки относительно оси протяжки и направления протяжки в начале резания. По своей форме и размерам направляющая часть соответствует подготовленному под протягивание отверстию в заготовке. Режущая часть 3 имеет зубья, которые выполняют основную работу резания. Размеры зубьев последовательно увеличиваются. Каждый следующий зуб или группа зубьев больше предыдущего на величину, определяющую толщину срезаемого слоя. Эту величину называют подачей на зуб. Калибрующая часть 4 протяжки служит для окончательной отделки обрабаты-

ваемой поверхности. По размеру и форме зубья на калибрующей части одинаковы и соответствуют последнему зубу режущей части, они служат также запасом на переточку, после которой часть из них переходит в режущие зубья. Задняя направляющая часть 5 предохраняет протяжку от перекоса при выходе из обработанного отверстия последнего калибрующего зуба.

Скорость резания при протягивании — это путь, проходимый зубьями протяжки относительно обрабатываемой заготовки в минуту. Протягивание осуществляют со скоростью резания 8—12 м/мин. Однако протягивание — высокопроизводительный процесс, так как велика суммарная длина режущих кромок, работающих одновременно. Точность обработки при протягивании достигает 3—2-го класса, шероховатость обработанной поверхности 7—9-го класса.

Подача на зуб, или толщина срезаемого слоя, выбирается в зависимости от условий протягивания и колеблется в пределах 0,02—0,2 мм. Ширина срезаемого слоя равна периметру режущей части. Так, для круглой протяжки она равна длине окружности зуба.

2. УСТРОЙСТВО ПРОТЯЖНЫХ СТАНКОВ

Протягивание проводят на горизонтальных и вертикальных протяжных станках. Более распространены горизонтальные протяжные станки, служащие, как правило, для обработки отверстий. Вертикально-протяжные станки применяют в основном для наружного протягивания.

В большинстве случаев протяжные станки имеют только одно главное движение — *поступательное прямолинейное*. Иногда, например, при наружном протягивании тел вращения заготовке сообщают медленное вращение (круговую подачу), а протяжке — движение резания. Общий вид горизонтально-протяжного станка модели 7510М показан на рис. 275. Станок предназначен для обработки отверстий, а при использовании специальных приспособлений — для обработки коротких наружных фасонных поверхностей в условиях крупносерийного и массового производства.

Основными узлами станка являются: тумба 1, верхняя станина с ползуном (кареткой) 2, нижняя станина 3,

рабочий цилиндр со штоком 6, золотниковое устройство 4, привод станка с насосной станцией 5. Имеется рукоятка 8 для управления золотником, а также рукоятки 7 для изменения скорости протягивания.

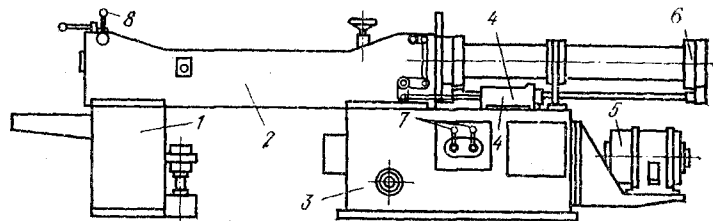


Рис. 275. Горизонтально-протяжной станок модели 7510М

Современные протяжные станки выпускаются, как правило, с гидравлическим приводом. Номинальное тяговое усилие колеблется в пределах 5—40 тс, а длина хода ползуна составляет 1000—2000 мм.

Глава XII

ОБРАБОТКА НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Шлифование — весьма распространенный и, как правило, отделочный метод обработки, позволяющий достичь высокой точности и чистоты обработанной поверхности. В массовом и крупносерийном производстве шлифовальные станки составляют 25—30% от общего количества металлорежущих станков.

Во многих случаях шлифование является практически единственной операцией, которую трудно заменить какой-либо другой обработкой, например обработка весьма твердых материалов и закаленных сталей, удаление больших припусков с чугунных и стальных отливок при работе по корке, зачистка проката, окончательная обработка заготовок с минимальным припуском на механическую обработку без предварительной обработки лезвийным инструментом.

Шлифование обеспечивает точность обработки в пре-

делах 2—1-го классов точности, чистоту поверхностей в пределах $\nabla 7$ — $\nabla 10$ -го классов, а также снятие весьма тонких стружек и высокую производительность.

1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

При шлифовании удаление припуска с заготовки проводят огромным множеством миниатюрных резцов — абразивных зерен, соединенных связкой так, что между ними имеется пространство для размещения стружки. Для шлифования характерны высокие скорости резания и малые сечения срезаемого слоя металла. При высоких скоростях резания стойкость режущих лезвий зерен мала, однако ввиду периодического вступления в работу новых зерен стойкость круга в целом достаточно велика.

Каждое зерно срезает весьма тонкую стружку, но так как одновременно в работе принимает участие большое количество зерен, а скорость резания велика, в единицу времени срезается большое количество металла. Режущие способности шлифовального круга определяются свойствами материала абразивных зерен, качеством связующего материала и структурой абразивного инструмента.

Абразивные материалы

От этих материалов требуются высокая твердость и прочность, теплостойкость, острота зерен, экономичность. Электрокорунд (Al_2O_3) — продукт плавки в электропечах пород, содержащих окись алюминия — бокситы. После плавки блоки размалывают до размеров от нескольких микрон до 1—2 мм. Различают электрокорунд нормальный (89—95% Al_2O_3), электрокорунд белый (95—98% Al_2O_3) и монокорунд (98—99% Al_2O_3). Чем выше содержание Al_2O_3 , тем прочнее и тверже зерна и тем они острее. Электрокорундовые круги используют для шлифования сырых и закаленных сталей.

Карбид кремния (SiC) получают сплавлением пород, содержащих кремнезем и углерод, при весьма высокой температуре. При шлифовании используют карбид кремния зеленый (98—98,5% SiC) и черный (97% SiC). Тепло-

стойкость, твердость и острота зерен у карбида кремния выше, чем у корунда.

Карбид бора (B_4C) — химическое соединение бора с углеродом — имеет очень высокую твердость. Используют в виде паст главным образом для полирования и доводки.

Абразивные зерна алмаза и эльбора имеют различную зернистость. Согласно ГОСТ 3647—71, величину зерен определяют в сотых долях миллиметра и обозначают определенным номером зернистости. Абразивные материалы делят на зерна (200—16) и порошки (12—3). Для полировальных паст, полотен, лент, а также брусков используют микропорошки (M40—M5), размер зерен которых измеряют в микронах.

Связка

Режущая способность шлифовального круга зависит не только от материала зерен, но и от связующего материала. Основное назначение связки — закрепление абразивных зерен в инструменте и обеспечение высокой прочности круга. При неправильном выборе связки даже очень износостойкие зерна не будут работать эффективно из-за разрушения связки и выпадения еще неизношенных зерен из рабочей поверхности круга. В зависимости от сочетания пары абразивное зерно — связка прочность их соединения может быть различной. Связка должна быть водостойкой, теплостойкой, устойчивой к агрессивным средам и дешевой. Различают связки неорганического и органического происхождения.

К неорганическим связкам относится прежде всего керамическая. Ее достоинства: теплостойкость, водостойкость, стойкость к агрессивным средам. Недостатки: относительно высокая хрупкость, чувствительность к ударам. Обычный состав керамических связок: огнеупорная глина, полевой шпат, кварц, тальк, жидкое стекло и др.

Органические связки. Наиболее распространенная органическая связка — бакелитовая, основой которой является фенолформальдегидная смола. Круги на основе бакелитовой связки прессуют в формах, после чего подвергают термической обработке (бакелитизации), придающей связке твердость и прочность. Особое достоинство ее — эластичность. Круги на бакелитовой связке

успешно применяют при обдирочном и отделочном шлифовании, особенно при отрезании, фасонном шлифовании и шлифовании узких пазов и канавок. Недостатки: относительно невысокая теплостойкость. При температуре 200—250°С прочность сцепления с зерном уменьшается. Эти связки менее стойки к агрессивным охлаждающим жидкостям. Для повышения прочности круга применяют текстолитовые прокладки, а иногда и металлические кольца.

Твердость круга

Под твердостью шлифовального круга понимают способность связки удерживать зерно от вырывания его внешней силой.

ГОСТом предусмотрено семь классов твердости шлифовальных кругов: мягкие M1, M2, M3; среднемягкие SM1, SM2; средние C1, C2; среднетвердые ST1, ST2, ST3; твердые T1, T2; весьма твердые VT1, VT2; чрезвычайно твердые CT1, CT2.

Шлифовальный круг выбран правильно, если в процессе шлифования заготовки происходит его самозатачивание. Если выбран слишком твердый круг, то он засаливается, если слишком мягкий, то он будет интенсивно изнашиваться (осыпаться) и быстро потеряет свою форму. Обычно для мягких материалов выбирают твердый круг, а для твердых материалов мягкий круг.

Структура круга

Количественное соотношение объемов зерна, связки и пор характеризуется номером структуры, с увеличением которого плотность круга уменьшается. По структуре различают круги плотной структуры (0—3), (60—56% зерен), среднеплотной структуры (4—6), (54—48% зерен), открытой структуры (7—12) (38—46% зерен).

Кроме того, круги различают по форме на плоские прямого профиля, чашечные, тарельчатые, дисковые и др. Характеристика круга маркируется на его торце, например Э40СМ2К5 означает, что круг из электрокорунда, зернистость круга 40, твердость СМ2, связка керамическая К, структура 5.

2. ВИДЫ ШЛИФОВАНИЯ, РЕЖИМ РЕЗАНИЯ

Наиболее распространено круглое внешнее шлифование в центрах.

Шлифование с продольной подачей (рис. 276, а). Шлифовальный круг вращается с окружной скоростью

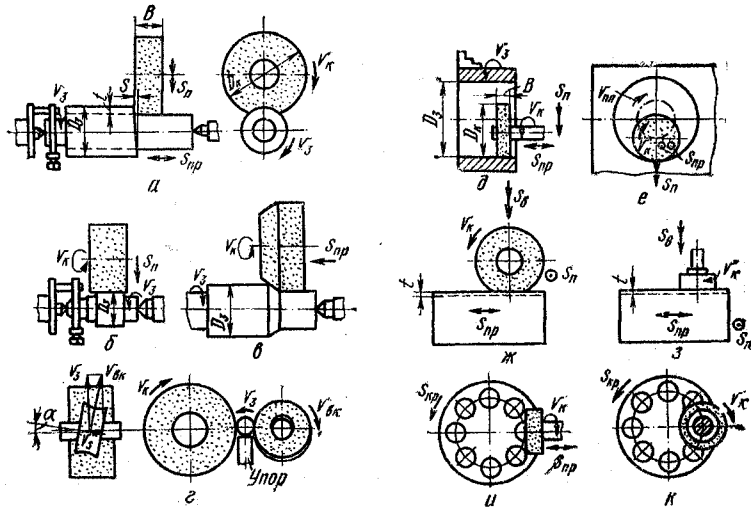


Рис. 276. Схемы шлифования поверхностей заготовок на шлифовальных станках

v_k , которая является скоростью резания и определяется по формуле

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{60 \cdot 1000},$$

где D — диаметр круга;
 n_k — число оборотов круга в минуту.

Скорость вращения заготовок определяется по формуле

$$v_s = \frac{\pi D_s n_s}{1000},$$

где D_s — диаметр обрабатываемой заготовки;
 n_s — число оборотов заготовки в минуту.

Вращение заготовки является круговой подачей. Круг или заготовка совершает возвратно-поступательное продольное перемещение вдоль оси — продольную подачу ($s_{пф}$), которая измеряется в миллиметрах на один оборот заготовки или в долях ширины круга (B). Перемещение круга в направлении, перпендикулярном его оси, является поперечной подачей, имеет прерывистый характер и происходит в конце одного или нескольких ходов продольной подачи.

Шлифование с поперечной подачей или врезное шлифование (рис. 276, б). Такое шлифование применяют для обработки заготовок относительно небольшой длины и фасонных с заправкой круга по заданному профилю. В отличие от предыдущего метода продольной подачи нет, а поперечная подача непрерывная.

Глубинное шлифование (рис. 276, в). Шлифовальный круг устанавливают сразу на полную глубину шлифования. Обрабатывают за один или два продольных хода круга (стола). Глубина шлифования достигает 0,1—0,4 мм. Продольная подача мала: $s_{пф} = 1 \div 5$ мм/об.

Круг заправляют на конус, что облегчает процесс резания. Глубинное шлифование используют для обработки коротких и жестких заготовок.

Бесцентровое шлифование (рис. 276, г). Это шлифование используют в массовом и крупносерийном производстве. Заготовку не крепят в центрах, а пропускают между двумя кругами, опирая ее на упор — нож. Шлифующий круг совершает работу резания — снятие стружки, а ведущий сообщает заготовке вращение и продольное поступательное перемещение, для чего он повернут под углом α к оси заготовки, как показано на рис. 276, г. Чтобы сохранить способность ведущего круга вращать и перемещать заготовку, ему придают форму гиперболоида вращения.

Круглое внутреннее шлифование. Различают обычное (рис. 276, д) и планетарное (рис. 276, е) внутреннее шлифование. При обычном внутреннем круглом шлифовании все движения заготовки и круга такие же, как и при наружном шлифовании с продольной подачей. Диаметр круга D_k выбирают в зависимости от диаметра D_s шлифуемого отверстия: $D_k = (0,8 \div 0,9) D_s$.

При шлифовании отверстий в крупных тяжелых заготовках применяют внутреннее планетарное шлифова-

ние (рис. 276, е). В этом случае заготовка неподвижна, а круг вращается относительно своей оси и оси шлифуемого отверстия (планетарное движение), а также совершает продольную и поперечную подачу.

Плоское шлифование осуществляется периферией или торцом круга. На рис. 276 показаны схемы плоского шлифования на станках с прямоугольным столом периферией плоского круга прямого профиля (рис. 276, ж) и торцом чашечного круга (рис. 276, з), а также схемы плоского шлифования на станках с круглым столом, работающих по принципу карусельных станков, периферией круга (рис. 276, и) и торцом круга (рис. 276, к).

Скоростное шлифование при скоростях круга 50—100 м/с основано на применении специальных кругов, обладающих повышенным сопротивлением разрыву под действием центробежных сил. Это, как правило, высокопористые круги, имеющие небольшую массу. Скоростное шлифование позволяет улучшить чистоту обработанной поверхности, а при неизменной чистоте поверхности повышает производительность обработки. Так, если увеличить скорость круга v_k в два раза по сравнению с обычным шлифованием, т. е. до 60 м/с, то при сохранении той же чистоты обработанной поверхности можно увеличить окружную скорость заготовки v_z в четыре раза и соответственно уменьшить технологическое время обработки.

3. АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ

Особенностью шлифования являются весьма значительные контактные напряжения (до 10 000 кгс/мм²) и температуры (до 1000°С), которые возникают из-за неблагоприятной формы абразивных зерен (большие углы резания) и весьма неблагоприятного соотношения между толщиной среза на одно зерно и радиусом закругления режущего лезвия. В результате значительная часть зерен не режет, а проскальзывает. Этому способствует также и хаотическое расположение зерен в массе круга, они не заполняют всей поверхности круга и не лежат в одной плоскости.

Высокие напряжения и температуры возникают лишь в очень тонких поверхностных слоях обрабатываемой заготовки и резко падают в направлении, нормальном

к шлифуемой поверхности. В поверхностном слое обрабатываемой детали возникают не только фазовые, структурные превращения, но и значительные временные и остаточные напряжения.

Шлифование, как правило, окончательная чистовая операция и дефекты, вносимые этой операцией в поверхностный слой заготовки, оказывают существенное влияние на ее эксплуатационные свойства. Пороки шлифования можно существенно снизить, применяя алмазное шлифование.

Алмазное шлифование получило особенно широкое распространение в связи с появлением синтетических алмазов, которые обладают высокой твердостью (в 2,5 раза больше, чем твердость карбида бора и карбида кремния, а радиус закругления режущего лезвия в шесть раз меньше). Алмаз отличается также малым коэффициентом линейного расширения и высокой теплопроводностью.

Связки алмазных кругов

Круги на бакелитовой связке обеспечивают высокую чистоту обработанной поверхности заготовки за счет самозатачивающего и полирующего действия самой связки, а также уменьшения сил резания и температуры.

Эластичная бакелитовая связка позволяет зерну несколько вдавливаясь в массу круга, что снижает износ его и улучшает чистоту поверхности. Металлическая связка делается, как правило, на меднооловянной основе, обладает высокой прочностью и износостойкостью. Круги на этой связке отличаются долговечностью, хорошо сохраняют свою геометрическую форму. Применяют их главным образом для операций предварительного шлифования, съема больших припусков, а также фасонного шлифования.

Металлическая связка прочно удерживает алмазные зерна, поэтому обеспечивает меньший расход алмазов. Однако силы и температура резания увеличиваются. Наблюдается склонность к засаливанию и адгезии, что ухудшает чистоту обработанной поверхности.

Концентрация характеризует объемное содержание алмазов в алмазном слое. Концентрация выражается в процентах. За 100%-ную концентрацию принимают

содержание 4,39 карата алмазов на 1 см³ алмазоносного слоя, или 0,878 мг на 1 мм³. Различают круги 25, 50, 100, 150, 200%-ной концентрации. Алмазное зерно способно срезать тончайшие стружки с минимальной нагрузкой на зерно.

Механизм резания при шлифовании алмазным кругом характеризуется суммарным взаимодействием алмазного зерна и связки с обрабатываемым материалом. Связка — не только средство удержания зерен, но и самостоятельный фактор взаимодействия круга с заготовкой.

Алмазное шлифование используют чаще всего при шлифовании (заточке) твердосплавных инструментов и отделочных операциях. В последние годы наряду с синтетическим алмазом нашел применение кубический нитрид бора (эльбор). По своему строению эльбор схож с синтетическим алмазом. При прочих равных свойствах эльбор восполняет существенный недостаток алмаза, его относительно низкую теплостойкость. У алмаза она составляет приблизительно 800°С, а у эльбора до 1400°С. Эльбор весьма перспективен для шлифования быстрорежущих инструментальных сталей.

4. ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Шлифовальные станки общего назначения разделяются на круглошлифовальные (центровые и бесцентровые) внутришлифовальные, плоскошлифовальные, резьбошлифовальные, зубошлифовальные, заточные и др.

Круглошлифовальный станок модели 3155 (рис. 277). Предназначен для шлифования в центрах цилиндрических, конических, фасонных и плоских торцовых поверхностей заготовок. Максимальные размеры обрабатываемых заготовок: диаметр 200 мм, длина 750 мм. Узлы станка: бабка изделия I, задняя бабка II, шлифовальная бабка III, станина IV, гидропривод стола с панелью V, стол с поворотной плитой VI.

Кроме того, на рис. 277 показаны органы управления станком: маховичок 1 для ручного перемещения шлифовальной бабки, рукоятки 2 для управления гидроприводом, маховичка 3 для ручного продольного перемещения стола, кнопочная станция 4.

Движение продольной подачи осуществляется от гид-

ропривода со скоростью 0,1—10 м/мин. Поперечная подача шлифовальной бабки происходит также от гидропривода в пределах от 0,01 до 0,03 мм на один или несколько ходов стола. Главное вращательное движение шлифовального круга осуществляется от электродвигателя мощностью 8 кВт через клиноременную передачу. Круг имеет постоянное число оборотов 1000 об/мин.

Вращение обрабатываемой заготовки происходит от электродвигателя мощностью 0,8 кВт через ременную

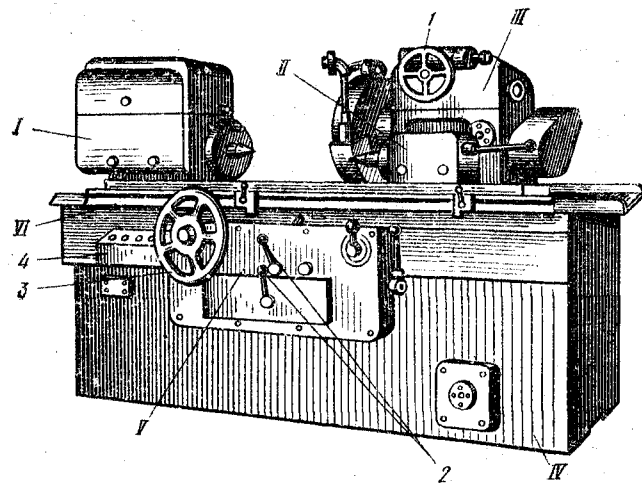


Рис. 277. Круглошлифовальный станок модели 3155

передачу с тремя парами шкивов и далее через плоскоременную передачу на шпиндель, который имеет числа оборотов от 75 до 300 в минуту.

Плоскошлифовальный станок модели 3Б722 (рис. 278). По направляющим станины 1 станка с помощью гидропривода перемещается стол 2, на котором закрепляют обрабатываемую заготовку или магнитную плиту 3. На боковой поверхности стола установлены упоры 4, которые через рычаг 5 реверсируют движение стола. Скорость движения стола регулируется в пределах от 2 до 40 м/мин. На станине установлена колонна 6, по вертикальным направляющим которой перемещается каретка со шлифовальной бабкой 7, на шпинделе которой установлен шлифовальный круг 8.

Вертикальное перемещение каретки со шлифовальной бабкой для установки глубины резания может быть ручным или автоматическим. Поперечную подачу имеет

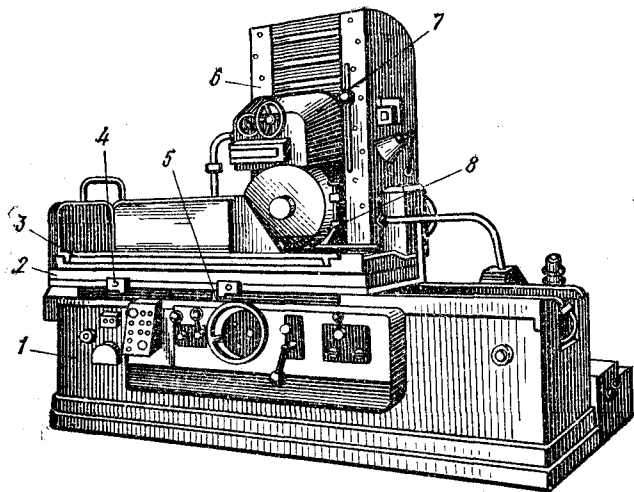


Рис. 278. Плоскошлифовальный станок модели 3B722

шлифовальная бабка, которая перемещается вручную или механически со скоростью в пределах от 0,5 до 30 мм за каждый ход стола. Вращение шлифовального шпинделя осуществляется от электродвигателя мощностью 10 кВт.

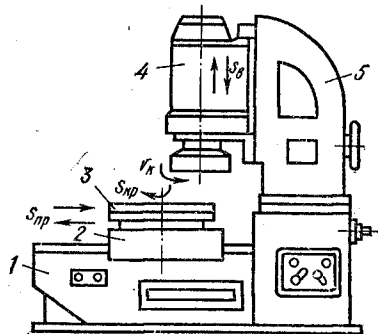


Рис. 279. Принципиальная схема плоскошлифовального станка с круглым столом

Плоскошлифовальный станок с круглым столом, работающим торцом чашечного круга, показан на рис. 279. На направляющих станины 1 перемещаются салазки 2 с круглым вращающимся столом 3. На станине установлена колонна 5, по направляющим которой

перемещается в вертикальной плоскости шпиндельная бабка 4. На шпинделе крепят чашечный, чаще всего сборный, шлифовальный круг. Вертикальная подача осуществляется от специального привода с храповым устройством. Станок имеет устройство для быстрого перемещения шпиндельной бабки.

Глава XIII

ОТДЕЛОЧНЫЕ И ДОВОДОЧНЫЕ ВИДЫ ОБРАБОТКИ

При изготовлении деталей современных машин, работающих с большими скоростями и значительными нагрузками, к качеству обработки их поверхностей, точности формы и размеров предъявляют высокие требования, которые нельзя удовлетворить методами обработки, описанными выше.

Общим для отделочных операций является тщательная предварительная обработка заготовок перед отделкой, так как последняя может обеспечить высокое качество поверхности только при малых сечениях среза, когда сила и температура резания невелики. Наибольшее распространение в настоящее время получили следующие методы отделочной обработки заготовок: тонкое обтачивание, растачивание и фрезерование; тонкое шлифование; хонингование; суперфиниширование; притирка (доводка); шлифование и полирование абразивной лентой.

1. ТОНКОЕ ТОЧЕНИЕ И РАСТАЧИВАНИЕ

Особенностью процесса являются большие скорости резания и малые сечения срезаемого слоя. Наилучшим материалом режущей части резцов для тонкого точения и растачивания заготовок из цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов в условиях серийного и массового производства являются алмазы, обладающие высокой размерной стойкостью. Применение их особенно выгодно там, где обрабатывают заготовки из материалов, имеющих повышенные абразивные свойства (фибра, резина, изоляционные материалы). Хрупкость

и склонность к диффузии ограничивает применение алмазов при обработке заготовок из стали и чугуна.

Для отделочной обработки заготовок из черных металлов применяют резцы, оснащенные твердым сплавом: Т30К4 и Т60К6 при обработке стали и ВК8М и ВК6М при обработке чугуна. В последнее время для тонкого точения и растачивания закаленных сталей применяют резцы, оснащенные кубическим нитридом бора. Для тонкого точения и растачивания применяют станки, обладающие высокой жесткостью и точностью.

Для достижения высокого качества поверхности и точности размеров большое значение имеет тщательность доводки режущих поверхностей инструмента. При растачивании глубоких отверстий или при повышенных требованиях к их точности обработке проводят за два прохода. При тонком точении высота шероховатостей находится в пределах $\nabla 8$ — $\nabla 9$ класса чистоты. Структура поверхностного слоя значительно лучше, чем при шлифовании. Точность обработки лежит в пределах 2-го и даже 1-го классов точности.

2. ТОНКОЕ ШЛИФОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Его назначение — обработка наружных и внутренних цилиндрических поверхностей при высоких требованиях к точности размеров и формы с одновременным требованием высокой чистоты поверхностей. Точность размеров обеспечивает по 1-ому классу точности, а шероховатость поверхности — в пределах 10-го класса чистоты.

Высокая точность достигается за счет срезания весьма тонких стружек (~ 5 мкм) мягкими, высокопористыми кругами зернистостью 26—12 на керамической связке и высокой жесткости и точности механизмов поперечной подачи шлифовальных станков. Обрабатывают валы диаметром 7—150 мм при длине до 200—300 мм, отверстия диаметром 6—100 мм. Припуск на шлифование составляет 5—10 мкм.

Часто последние проходы выполняют методом выжигивания, т. е. без подачи шлифовального круга на глубину резания. Таким образом компенсируются погрешности механизма подачи и упругие деформации.

Можно повысить точность и снизить шероховатость

обработанной поверхности, если вместо шлифования периферией круга применять тонкое шлифование торцом круга. В этом случае ось шлифовального круга располагают несколько выше оси обрабатываемой заготовки и перпендикулярно к ней.

3. ХОНИНГОВАНИЕ

Метод отделочной обработки поверхностей заготовок абразивными брусками, совершающими сложное движение по отношению к обрабатываемой поверхности, называется хонингованием.

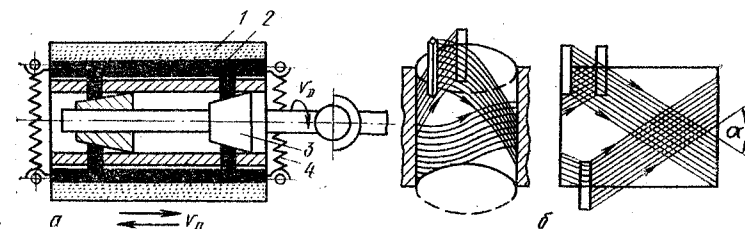


Рис. 280. Схема обработки цилиндрического отверстия хонингованием

вастью хонингованием. Этот метод применяют чаще всего при обработке сквозных цилиндрических отверстий. Инструмент — хонинговальная головка (рис. 280, а) — представляет собой жесткий корпус, в пазах которого параллельно его оси размещены абразивные бруски 1, закрепленные в колодках 2, которые удерживаются в корпусе браслетными пружинами 4. Бруски могут перемещаться в радиальном направлении с помощью конусов 3 для регулирования размера (диаметра) инструмента.

Обработка хонингованием исправляет в определенных пределах погрешности формы обрабатываемого отверстия в заготовке. Количество брусков в хонинговальной головке выбирают в зависимости от диаметра отверстия, но количество их должно быть кратным числу три. Для обработки глубоких отверстий применяют многорядное расположение брусков. Для предварительного хонингования используют бруски зернистостью 6—4, для окончательного М28—М14.

При обработке стали применяют бруски из белого

электрокорунда при обработке чугуна — из карбида кремния. Бруски с зёрнами синтетического алмаза позволяют существенно повысить качество обрабатываемой поверхности. Очень перспективно применение эластичных алмазных брусков, которые состоят из двух слоёв: алмазного, эластичного и металлического основания.

Особенность процесса заключается в автоматическом поддержании глубины внедрения алмазных зёрен в обрабатываемую поверхность заготовки. Эластичный подсло́й обеспечивает полное прилегание поверхностей брусков к обрабатываемой поверхности. Поэтому вся рабочая поверхность брусков участвует в работе с самого начала. Сокращаются период приработки и продолжительность обработки. Высота шероховатостей снижается до $\nabla 13$ -го класса чистоты, повышается точность формы и размеров обрабатываемого отверстия.

В процессе хонингования рабочей головке, шарнирно соединённой со шпинделем станка, сообщаются два движения: вращательное со скоростью v_0 и возвратно-поступательное (вдоль оси заготовки) со скоростью $v_{\text{п}}$.

Траектория абразивного зёрна относительно обрабатываемой поверхности представляет собой винтовую линию, правую при движении хонинговальной головки вверх и левую при движении вниз. В результате на обработанной поверхности появляется сетка винтовых рисок (см. рис. 280, б), что повышает эксплуатационные свойства обработанной поверхности.

Для уменьшения высоты шероховатостей скорости v_0 и $v_{\text{п}}$ выбирают такими, чтобы после каждого двойного хода брусок попадал в новое положение (см. рис. 280, б). Расстояние между последовательными положениями бруска называют перекрытием. Для обработки отверстия по всей длине заготовки необходимо, чтобы бруски имели некоторый перебе́г, т. е. выходили из обрабатываемого отверстия на величину 15—20 мм за каждый торец заготовки. Хонингование проводят с обильным охлаждением керосином или смесью керосина с веретенным маслом. Для получения более высокой точности и снижения высоты шероховатостей обработанной поверхности хонингование ведут в несколько переходов, применяя все более мелкозернистые бруски.

Если припуск под окончательную обработку уменьшить до 0,05—0,012 мм, то можно получить высоту шеро-

ховатости, соответствующую $\nabla 12$ и даже $\nabla 13$ -му классу чистоты. Хонингование проводят на специальных вертикально-хонинговальных станках при обработке отверстий глубиной до 12 м. Для хонингования глубоких отверстий глубиной до 5 м (при $d < 85$ мм) используют горизонтально-хонинговальные станки.

4. СУПЕРФИНИШИРОВАНИЕ

Суперфиниширование — тонкая отделочная обработка заготовок мелкозернистыми абразивными брусками, совершающими сложное движение относительно обра-

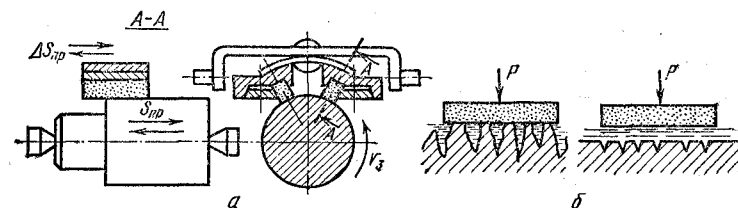


Рис. 281. Схема обработки наружной цилиндрической поверхности суперфинишированием

тываемой поверхности — чаще всего используют для обработки наружных цилиндрических поверхностей. Особенностью процесса суперфиниширования является то, что в процессе обработки давление бруска на обрабатываемую поверхность незначительно (0,5—3 кгс/см²).

Бруски прижимаются к обрабатываемой поверхности заготовки пружинами, поэтому суперфиниширование не обеспечивает исправления формы отверстия после предшествующей операции.

Как показано на рис. 281, а рабочие движения складываются из вращения заготовки $v_з$, колебательных осциллирующих движений брусков $\Delta s_{\text{пр}}$ малой амплитуды (3—5 мм) и продольного перемещения головки с брусками вдоль обрабатываемой заготовки. При суперфинишировании смазывающе-охлаждающая жидкость не только смывает продукты износа, но и образует масляную пленку, оказывающую существенное влияние на интенсивность съема металла.

Процесс резания происходит с постепенным снижением съема металла и сводится практически к удалению

шероховатостей, образованных на обработанной поверхности от предшествующей операции. В начале обработки, когда бруски опираются на выступы неровностей, давления будут большими. Масляная пленка прорывается, и абразивные зерна интенсивно срезают микронеровности. По мере срезания выступов шероховатостей площадь контакта брусков с поверхностью обрабатываемой заготовки увеличивается, давление уменьшается и масляная пленка препятствует срезанию металла. Интенсивность съема металла постепенно уменьшается и затем прекращается, когда давление недостаточно, чтобы прорвать масляную пленку. Такой механизм процесса резания позволяет вести высоту шероховатости до $\nabla 14$ -го класса чистоты.

На рис. 281, б показан характер обрабатываемой поверхности в начале и в конце процесса. Суперфиниширование проводят на специальных станках или с помощью приспособлений на универсальных токарных, расточных, карусельных и других станках.

5. ПРИТИРКА ПОВЕРХНОСТЕЙ

Этот способ применяют для окончательной отделочной обработки цилиндрических конических, плоских, шаровых и других поверхностей, а также резьб и зубьев зубчатых колес. Чистота поверхности при этом соответствует $\nabla 12$ — $\nabla 13$ -м классам, и точность — в пределах 2-го и даже 1-го классов.

Притирку (доводку) проводят абразивными зернами при помощи специального инструмента — притира двумя способами: связанным абразивом, предварительно шаржированным в притир, и свободным абразивом, который в виде смеси с жидкостью (суспензии) подается в рабочую зону или наносится на притир в виде пасты.

В процессе притирки происходит совместное химико-механическое воздействие на обрабатываемую поверхность заготовки. При этом происходит срезание тонких стружек и удаление окисных и адсорбированных пленок, образующихся на обрабатываемой поверхности в результате взаимодействия ее с химически активными веществами. Жидкости служат также для подвода и равномерного распределения абразивных зерен на поверх-

ности притира. Они смазывают и охлаждают притир на обрабатываемую заготовку, удаляют отходы.

Большое влияние на интенсивность притирки оказывает вязкость жидкости. Чаще всего используют масло, керосин, вазелин. В качестве абразивных материалов используют электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, окись хрома, синтетические алмазы.

Притиры для доводки заготовок из закаленной стали изготавливают из серого перлитного чугуна, для обработки цветных металлов и сплавов из оптического стекла. Притир должен быть изготовлен очень точно, так как в большинстве случаев он копирует форму обрабатываемой поверхности.

Процесс доводки может быть ручной и механический. Ручной процесс применяют в мелкосерийном производстве или когда сложная форма заготовки затрудняет механическую притирку. Механическая притирка на специальных доводочных станках повышает производительность процесса и обеспечивает получение более высокого качества поверхности.

Основная особенность доводочных станков — сложные относительные рабочие движения притира и заготовки, при которых абразивное зерно с каждым ходом притира относительно заготовки проходит по новой траектории.

6. ЛЕНТОЧНОЕ ШЛИФОВАНИЕ И ПОЛИРОВАНИЕ

Способ осуществляют при помощи бесконечных абразивных лент, натянутых на вращающиеся (ведущий ведомый) ролики. Наиболее распространенные схемы обработки заготовок представлены на рис. 282.

Обработка свободной лентой (рис. 282, а). Заготовку прижимают к рабочей поверхности ленты. Этот способ применяют в тех случаях, когда не требуется высокой точности формы детали или когда она имеет очень сложную форму.

Обработку с опорной плитой (копиром), рис. 282, б, используют, когда требуется высокая точность формы. Заготовка опирается через ленту на опорную плиту. В случае, если она имеет сложный контур (лопатки турбин, бочкообразные ролики подшипников качения), вместо плиты устанавливают специальный копир.

На рис. 282, в показано шлифование (полирование) плоских заготовок (листов). Их закрепляют на столе, совершающем возвратно-поступательное движение. Схема бесцентрового шлифования (полирования) заготовок цилиндрической формы показана на рис. 282, г.

Для внутреннего шлифования (полирования) заготовок большой длины (трубы) применяют схему обработки, показанную на рис. 282, д.

Абразивную ленту вводят в отверстие обрабатываемой заготовки, а затем сшивают или склеивают. Абразивная лента прижимается к обрабатываемой поверх-

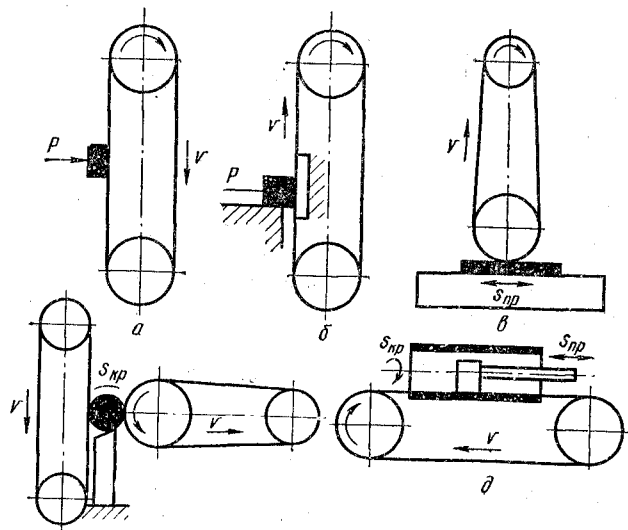


Рис. 282. Схемы ленточного шлифования и полирования поверхностей заготовок

ности заготовки разжимной оправкой, закрепленной на штоке и совершающей возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки. Заготовка вращается вокруг своей оси.

Абразивные ленты изготавливают на тканевой, бумажной, нейлоновой и других основах. Бумажные ленты используют для работы без охлаждения. Абразивные зерна закрепляют на ленте специальными клеями или связками из резины или синтетических смол.

Большое влияние на эффективность процесса оказывают конструкция и материал опорных плит и копиров. Они должны быть очень точно изготовлены и обладать большой износостойкостью. Обычно их изготавливают из стали ШХ15 или из силуминовых сплавов.

Преимущества ленточного шлифования (полирования) по сравнению с обработкой шлифовальными кругами состоят в высокой производительности процесса, относительной простоте обработки фасонных поверхностей, плавной работе ленты, не требующей балансировки, относительной простоте ленточно-шлифовальных станков.

К недостаткам следует отнести трудность исправления погрешностей формы деталей после предыдущих операций и трудность обработки мест резких переходов.

7. ОТДЕЛОЧНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ БЕЗ СНЯТИЯ СТРУЖКИ

В механических цехах все более широкое применение находят чистовая и отделочная обработки поверхностей пластическим деформированием металлов в холодном состоянии. Разработан ряд технологических методов, которыми повышают качество поверхностей после обработки резанием, например, отверстий после обработки развертыванием или растачиванием, шеек валов после чистовой обработки обтачиванием, зубчатых колес после чистового нарезания зубьев и т. п. В других случаях методы обработки без снятия стружки используют для окончательного формообразования новых поверхностей на заготовках взамен обработки резанием, например для накатывания резьб, мелкошлицевых валов, маломодульных зубчатых колес, рифов, клейм и т. п.

Для обработки поверхностей пластическим деформированием в холодном состоянии приспособлены металлообрабатывающие станки многих моделей, созданы специальные типы станков, на которых вслед за обработкой резанием производят обработку пластическим деформированием (например, обработку колесных пар). Созданы многие модели накатных станков, на которых выполняют сложные формообразования поверхностей (профиль зубьев, накатка резьб и др.).

Эти методы чистовой обработки основаны на использовании пластических свойств металлов, т. е. способно-

сти металлических тел принимать остаточные деформации без нарушения целостности металла. Поверхность на заготовке приобретает требуемую форму и размер в результате перераспределения элементарных объемов под воздействием обрабатывающего инструмента. Исходный объем заготовки сохраняется постоянным. Обязательным условием является то, чтобы твердость инструмента была значительно выше твердости материала заготовки. При этом следует учитывать, что почти при всех методах пластического деформирования металлов в холодном состоянии имеет место, хотя и небольшое, обратимое изменение объема, что отражается на требуемых размерах поверхности.

Обработка заготовок пластическим деформированием в холодном состоянии, в отличие от обработки резанием, не сопряжена с отходом металла в стружку, поверхностный слой металла не ослабляется микронадрывами, а почти всегда упрочняется: повышаются микротвердость, пределы прочности и текучести, создаются сжимающие напряжения, благоприятствующие сопротивлению металла нагрузкам. Чистовая обработка заготовок пластическим деформированием в холодном состоянии с целью формообразования, повышения чистоты и точности поверхностей применяется при обработке всех металлов, поддающихся деформированию. Однако эффективная обработка с указанными выше целями получается при твердости металла до $HV\ 280$. Твердость выше этого уровня резко снижает эффект.

Отделочная обработка поверхностей заготовок пластическим деформированием заключается в сглаживании неровностей и упрочнении предварительно обработанной поверхности заготовки за счет упруго-пластического деформирования материала. Возникающие при пластическом деформировании остаточные напряжения сжатия упрочняют поверхностный слой, увеличивают усталостную прочность и износостойкость, уменьшают влияние концентрации местных напряжений.

Метод формообразования внешних фасонных поверхностей цилиндрических деталей путем накатывания их вращающимся инструментом в холодном состоянии взамен обработки резанием довольно распространен. Он широко применяется для накатки резьб, мелкошлицевых валов, рифлений, клемов и маломодульных зубчатых

колес. К преимуществам накатывания перед обработкой со снятием стружки относятся высокая производительность (например, при накатывании резьбы плашками она в 16 раз выше, чем при нарезании ее лерками), низкая стоимость обработки, экономия металла и наряду с этим повышение механической и усталостной прочности деталей. Более высокая прочность и износостойкость накатанных деталей обусловлена тем, что волокна металла при формообразовании, например зубьев шестерен, пластическим деформированием не перерезаются, а вдавливаются, огибая контур зубчатой поверхности колеса, которая получает при этом наклеп.

Обкатывание и раскатывание поверхностей заготовок роликами и шариками

На рис. 283, а, б приведены схемы обкатывания роликом наружных цилиндрической и радиусной поверхностей (инструмент-обкатка), а на рис. 283, в — раска-

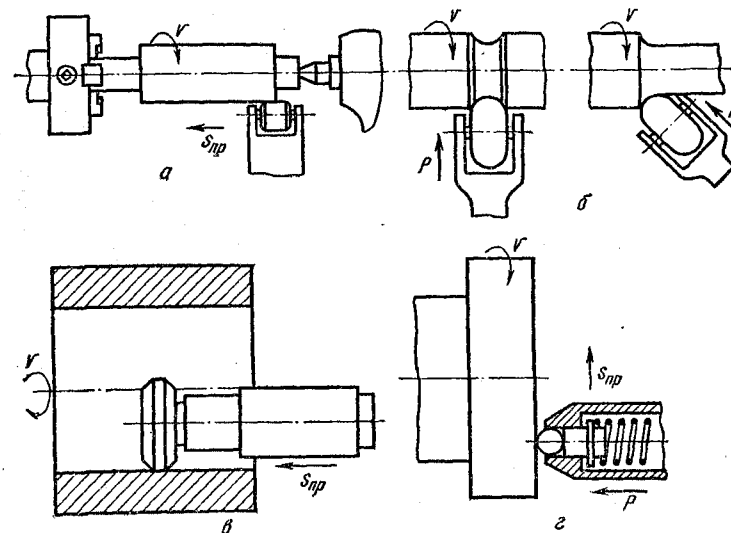


Рис. 283. Схемы обкатывания и раскатывания поверхностей заготовок

тывание цилиндрического отверстия (инструмент — раскатка). Иногда вместо ролика используют пружинящий шарик. Обкаткой шариком можно обрабатывать плоские

поверхности, зубья, резьбовые поверхности, беговые дорожки колец подшипников качения и т. п. (рис. 283, з).

При обработке заготовок недостаточной жесткости, а также при обкатке (раскатке) заготовок с большими усилиями применяют многороликовые или многошариковые обкатки и раскатки. Более равномерно сглаживает обработанную поверхность подпружиненный инструмент. Преимущество шарика перед роликом заключается в отсутствии проскальзывания его относительно поверхности заготовки, что отрицательно влияет на качество обработки.

На эффективность процесса значительное влияние оказывают физико-механические свойства обрабатываемого материала, качество обработки поверхности на предшествующих операциях, число проходов, режим обработки и конструкция инструмента. Наибольшее влияние на производительность процесса и качество обработанной поверхности оказывает давление. Величина давления зависит от свойств обрабатываемого материала, размеров отверстия, диаметра ролика или шарика. Для повышения стойкости инструмента, улучшения качества поверхности и снижения эффективной мощности применяют минеральные масла (трансформаторное, веретенное) с добавленным поверхностно активными веществами. Обкатывание и раскатывание поверхностей заготовок проводят на универсальных металлорежущих станках.

Калибрование (дорнирование) отверстий

Метод заключается в проталкивании (протягивании) инструмента определенной формы сквозь отверстие, имеющее несколько меньшие размеры, чем инструмент. При этом поверхностный слой обрабатываемого отверстия пластически деформируется. Калибрование отверстий отличается от раскатывания большими давлениями и степенью деформации. Инструментом служат дорны, шарики и специальные протяжки и прошивки.

На рис. 284, а, б показано протягивание и прошивание отверстий дорнами, на рис. 284, в — обработка отверстия выглаживающей протяжкой, на рис. 284, г — комбинированной протяжкой, у которой часть зубьев режущие, а часть выглаживающие.

Калиброванием можно получить отверстие до 2-го и

даже 1-го класса точности, $\nabla 9$ — $\nabla 10$ -й класс чистоты, повысить усталостную прочность и износостойкость обработанных поверхностей. Инструмент должен обладать высокой твердостью и износостойкостью. Его изготавливают из инструментальных сталей (с последующей термической обработкой) или из твердых сплавов. Процесс

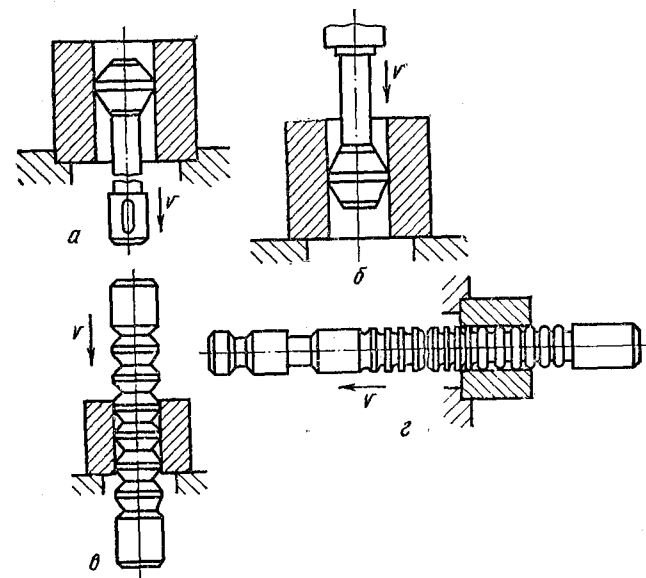


Рис. 284. Схемы калибрования отверстий

проводят с обильной смазкой. При обработке стали применяют минеральные масла с добавками поверхностно активных веществ, при обработке чугуна — керосин.

Динамическое упрочнение поверхностей заготовок

Процесс осуществляется с целью повышения поверхностной твердости и усталостной прочности заготовки и основан на ударном воздействии упрочняющего инструмента на обрабатываемую поверхность. Наиболее часто применяют дробеструйную обработку, ротационные шариковые упрочнители.

Дробеструйную обработку применяют для заготовок сложной формы. Процесс заключается в том, что на об-

рабатываемую поверхность заготовки, помещенную в специальную камеру, с большей скоростью направляется поток стальной дроби. Удары дроби вызывают в поверхностном слое заготовки неравномерную (по сечению) пластическую деформацию, в результате чего на поверхностном слое возникают значительные напряжения сжатия, что повышает усталостную прочность материала заготовки. Исходная шероховатость при этом не

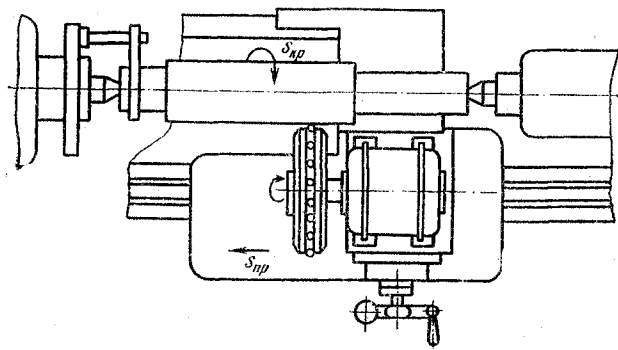


Рис. 285. Схема ротационного упрочнения поверхности вала

уменьшается. Большой эффект достигается при дробеструйной обработке таких деталей, как рессорные листы, пружины, лопатки турбины и т. д.

Обработка ротационными шариковыми (роликовыми) упрочнителями основана на принципе динамического удара шариков (роликов) об обрабатываемую поверхность, для чего используют центробежную силу шариков, свободно сидящих в отверстиях быстро вращающегося диска. Схема устройства приведена на рис. 285.

Глава XIV

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ

Уровень автоматизации в машиностроении зависит от степени автоматизации металлорежущих станков. Различают восемь исторически сложившихся ступеней

автоматизации, каждая из которых связана с появлением определенной группы станков.

К первой группе станков относятся универсальные станки с ручным управлением, которые постоянно совершенствуются и даже оснащаются средствами автоматического управления (малая автоматизация). Достоинством этих станков является универсальность, недостатком — малая производительность.

Развитие массового производства обусловило появление второй группы станков — универсальных полуавтоматов, имеющих большую производительность и высокую степень автоматизации. Однако на этих станках можно обрабатывать небольшое количество наименований деталей, поэтому они ограниченно применяются в индивидуальном и серийном производстве.

При изготовлении одной типовой детали или нескольких однотипных в массовом производстве применяются специальные полуавтоматы и автоматы, которые относятся к третьей группе. Они конструктивно проще универсальных полуавтоматов и автоматов и более производительны. Однако их изготовление целесообразно лишь в том случае, когда форма и размеры обрабатываемой детали остаются длительное время неизменными.

Бурный рост техники обусловил быструю сменяемость машин и их деталей. Потребовались станки, которые наряду с высокой производительностью, присущей полуавтоматам и автоматам, были бы сконструированы из узлов и даже деталей, пригодных для использования при создании нового оборудования. Такими свойствами обладают агрегатные станки, которые относятся к четвертой группе. Особенности агрегатных станков является компоновка их из нормализованных узлов, которые предварительно тщательно проверяются в работе.

К пятой группе относятся автоматические линии из агрегатных станков для обработки корпусных деталей.

Для изготовления средних и мелких деталей, преимущественно тел вращения, применяют автоматические линии из универсальных полуавтоматов и автоматов (шестая группа). Основное их достоинство — возможность использования большого количества автоматов и полуавтоматов, находящихся в эксплуатации, путем их некоторой модернизации. К седьмой группе можно отнести автоматические цехи и заводы.

Применение указанных выше групп автоматизированных станков не решает задачи автоматизации индивидуального и мелкосерийного производства, а также крупносерийного и массового производства с частой сменой его объектов. Это объясняется тем, что рассмотренные способы управления не обладают достаточной гибкостью и не позволяют в короткие сроки перенастроить станки на производство новых изделий. Поэтому в последние годы получили распространение металлорежущие станки с системами программного управления (восьмая группа). Основное их преимущество — возможность быстрой переналадки.

Наряду с автоматизацией важным направлением развития станкостроения является повышение качества станков, т. е. точности, жесткости, виброустойчивости и долговечности.

2. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Под механизацией понимают такое направление развития производства, которое характеризуется применением в производственном процессе машин и устройств, заменяющих мускульный труд рабочего. Под автоматизацией понимают такое направление развития производства, которое характеризуется освобождением человека не только от тяжелого ручного труда, но и от оперативного управления механизмами, выполняющими эти движения.

Для повышения производительности необходимо уменьшить штучное время обработки детали на станке. Анализ штучного времени позволил выявить объем работ, подлежащих механизации и автоматизации: 1) введение быстрых обратных ходов суппорта; 2) точная остановка суппорта в конечном положении; 3) механизация управления скоростями и подачами; 4) механизация поворота и фиксирования резцовой головки; 5) автоматизация зажима деталей; 6) автоматизация отвода резца при нарезании резьбы; 7) автоматизация циклов обработки простейших деталей; 8) применение копировального суппорта; 9) применение устройств для загрузки детали.

Приведем несколько примеров механизации и автоматизации универсальных станков. Установка и закрепление деталей на токарно-винторезных станках занимают 25—30% штучного времени. Механизация и автоматизация этих операций при помощи гидравлических и пневматических устройств позволяет в несколько раз сократить время при минимальной затрате ручного труда.

Примером механизации может служить применение трехкулачкового пневматического патрона, кулачки которого перемещаются с помощью сжатого воздуха. Если давление в сети падает ниже допустимого, станок автоматически выключается. Во многих универсальных станках отсутствуют механизмы для быстрых ходов. Большое количество конструктивных разработок посвящено решению этой задачи.

Простейший механизм быстрых ходов (рис. 286, а) состоит из электродвигателя 1 и кинематической цепи быстрых ходов 2, связывающей его с ходовым винтом 3. Для осуществления рабочего хода движение передается от вращающегося вала 6 коробке подач 5 и винту 3. Муфта 4 включена, а электродвигатель 1 выключен. Для осуществления быстрого хода включается электродвигатель 1 и выключается муфта 4. Таким образом, винт 3 получает быстрое вращение от электродвигателя через цепь 2.

Для автоматизации цикла обработки ступенчатых и фасонных поверхностей на токарных станках широко применяются гидравлические копировальные устройства. С помощью этих устройств обрабатывают детали по плоскому копире или по эталонной детали. Приспособление для установки копиров помещают на станине станка, гидравлический агрегат — рядом со станком. Гидравлический суппорт устанавливают сзади на каретке суппорта станка. На рис. 286, б изображена принципиальная гидравлическая схема копировального устройства. От насоса через фильтр 5 масло поступает в канал неподвижного штока 3, а затем в штоковую полость А цилиндра 4 и через отверстие поршня в бесштоковую полость Б цилиндра 4, который встроен в копировальные салазки и может с ними перемещаться. Из цилиндра 4 по трубопроводу масло поступает в золотник 2 и, пройдя через его щель *h*, по шлангу стекает в бак.

При повышении давления в системе (при перегрузке) срабатывает предохранительный клапан *б*, и масло, нагнетаемое насосом, сливается в бак. Когда шуп *1* перемещается по горизонтальному участку копира, он не смещается вдоль своей оси. Щель в золотнике имеет размер,

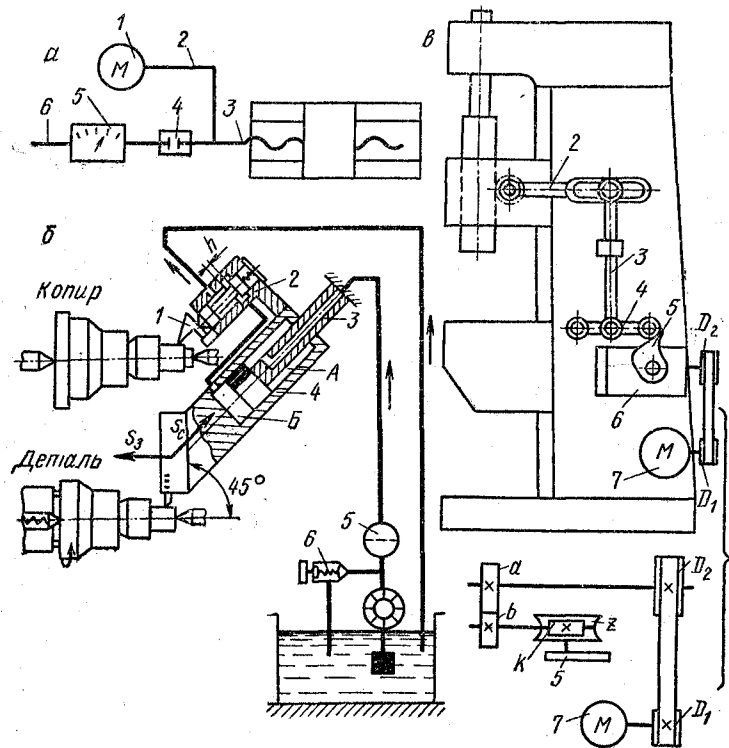


Рис. 286. Автоматизация универсальных станков

при котором соотношение давления масла в полостях *A* и *Б* цилиндра таково, что цилиндр *4* с резцом неподвижен относительно каретки суппорта. В этом случае резец вместе с суппортом получает только одно движение подачи вдоль оси детали, которую называют задающей подачей.

Если копир при перемещении суппорта влево нажимает на шуп своим торцом, золотник смещается вверх,

щель *h* увеличивается, уменьшается давление в бесштоковой полости *Б* цилиндра *4*, который вместе с копирувальными салазками и резцом начинает отходить от детали. При смещении золотника вниз щель *h* уменьшается, увеличивается давление в бесштоковой полости *Б*, и цилиндр вместе с копирувальными салазками и резцом начинает подходить к детали.

В обоих рассмотренных случаях резец получает две подачи: задающую s_3 , постоянную или изменяющуюся только по величине, и следящую изменяющуюся как по величине, так и по направлению в зависимости от профиля копира. Результирующее движение резца происходит в том же направлении, в каком шуп движется по копиру. Таким образом, резец «следит» за движением шупа и воспроизводит траекторию копира. Такая система называется следящей, а золотник *2* — следящим золотником.

В рассматриваемом случае в результате суммирования следящего движения s_6 с задающим s_3 на детали образуется торцовая поверхность. Аналогично образуются конические и фасонные поверхности.

Автоматизация циклов обработки деталей на универсальных станках может быть осуществлена кулачковыми механизмами, гидравлическими, пневматическими и электрическими устройствами.

При автоматизации цикла движений шпинделя сверлильного станка с использованием приставного кулачкового механизма *б* (рис. 286, *в*) кулак *5* получает вращательное движение от электродвигателя *7* через ременную передачу D_1/D_2 , сменные зубчатые колеса a/b , червячную передачу R/z . За один оборот кулака совершается цикл обработки. Профиль кулака обеспечивает выполнение всех элементов цикла: быстрого подвода инструмента в исходное положение, остановки.

При вращении кулака *5* движение получает качающийся рычаг *4*, который тягой *3* связан с рычагом *2*. Рычаг *2* установлен на валу реечной шестерни *1*, находящейся в зацеплении с рейкой гильзы шпинделя. Таким образом, при качании рычага *2* гильза шпинделя получает поступательное движение с соответствующей скоростью и в соответствующем направлении. Ход гильзы можно регулировать, переставляя палец тяги *3* в пазу рычага *2*.

Кулачковый механизм, осуществляющий автоматический цикл, может быть выполнен совместно с поворотным (многопозиционным) столом, который позволяет осуществить ряд переходов или операций с одной установкой, сократив время на установку и снятие детали, совмещая вспомогательное время с основным.

На рис. 287 приведена схема поворотного стола, который устанавливается на столе сверлильного станка. Обрабатываемая деталь закрепляется на поворотном

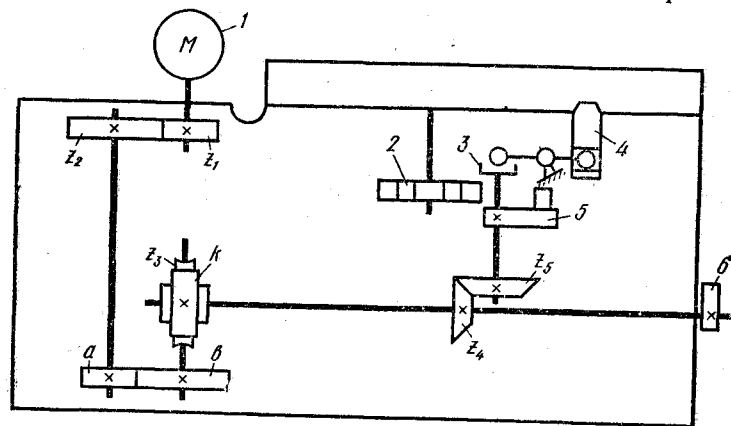


Рис. 287. Поворотный стол

столе. От электродвигателя 1 через зубчатые колеса z_1/z_2 , сменные зубчатые колеса a/b , червячную передачу R/z_3 вращение передается кулачку 6 рабочей подачи шпинделя станка. От вала кулачка 6 через коническую пару z_4/z_5 вращение передается кривошипу 3 и мальтийскому кресту 2, который периодически поворачивает стол. При этом фиксатор 4 должен быть выведен из гнезда стола, а после поворота зафиксировать стол. Этим управляет кулак 3.

3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И СРЕДСТВА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Программное управление — широкое понятие. Все современные автоматы, полуавтоматы и автоматические линии работают по заранее рассчитанной программе,

т. е. имеют программное управление. Большинство станков-автоматов и полуавтоматов имеет систему управления с распределительным валом. Носителем программы здесь служит распределительный вал с кулачками.

Сущность числового программного управления заключается в следующем. При разработке технологического процесса составляют программу перемещений (величину, направление, скорость) режущего инструмента относительно детали. Программу записывают условным кодом, т. е. заменяют системой числовых обозначений, которые затем переносят в виде перфораций на карту или ленту или в виде магнитной записи на ленту. В таком виде она вводится в считывающее устройство станка. Прочитанные данные преобразуются в соответствующие командные импульсы, которые с помощью управляющих механизмов подают сигналы исполнительным органам станка, например суппорту токарного станка, столу фрезерного станка и т. п.

Эффективность числового программного управления заключается в том, что программноноситель не связан с конструкцией станка, и поэтому изменение программы не требует существенной перестройки станка.

Станки с числовым программным управлением позволяют повысить производительность труда в три — шесть раз. Одновременно повышается качество и стабильность размеров обрабатываемых деталей за счет снижения утомляемости рабочего-оператора и снижения требований к квалификации станочников. Важным фактором является также сокращение сроков перехода на новую продукцию за счет уменьшения времени на переналадку станков.

Директивами XXIV съезда КПСС предусмотрен рост производства станков с числовым программным управлением за пятилетие не менее чем в 3,5 раза.

Различают следующие системы числового программного управления:

- 1) по виду управления движения — позиционные, прямоугольные и непрерывные (контурные);
- 2) по виду программноносителя — системы с перфорированными лентами, перфорированными картами и магнитными лентами;
- 3) по типу привода — со ступенчатым, регулируемым, следящим и шаговым;

4) по количеству одновременно управляемых координат — по одной, двум, трем, четырем и более координатам;

5) по числу потоков информации — разомкнутые, замкнутые и самонастраивающиеся системы.

Позиционные системы применяются в станках сверлильно-расточной группы. Они характеризуются тем, что в соответствии с заданной программой обеспечивается положение рабочего органа станка (например, координатного стола с деталью). Траектория движения инструмента от точки к точке задается так, чтобы время было минимальным.

Прямоугольные системы предназначены для обработки деталей с прямоугольными контурами (например, ступенчатых валиков на токарных станках, деталей прямоугольной формы на фрезерных станках). Траектория движения инструмента состоит только из отрезков прямых, параллельных осям координат.

Непрерывные системы применяются в станках для обработки деталей сложной формы. Они характеризуются тем, что определяют траекторию режущего инструмента, необходимую для получения детали заданной формы. Эти станки различаются по количеству одновременно управляемых координат. Для обработки плоских деталей со сложным профилем применяются фрезерные станки с двухкоординатной непрерывной системой. Для обработки объемных деталей типа штампов применяются станки, оснащенные трехкоординатной системой.

Находят применение также станки с программированием цикла и режимов обработки (станки с циклическим программным управлением). В этих станках при помощи программноносителей (штеккерные панели, перфоленты, перфокарты) программируются только циклические команды (цикл работы станка, смена режимов обработки и т. д.).

Любая система программного управления состоит из следующих основных узлов: узла программы, узла управления, исполнительного механизма и во многих случаях узла обратной связи.

Программноносители, устройства для считывания программы и устройства для перемещения программноносителей образуют узел программы. Устройства для считывания в зависимости от типа программноносителя пред-

ставляют собой набор щупов, фотоэлементов, специальных магнитных головок. По мере выполнения различных команд программноноситель должен непрерывно или периодически перемещаться относительно считывающего устройства. Это осуществляется различными лентопротяжными механизмами или устройствами для периодических движений.

Для чтения программы, зафиксированной на перфокарте или перфоленте, применяются как контактные, так и бесконтактные методы. При контактном методе перфорированная бумажная карта или лента 1 (рис. 288, а) лежит на поверхности контактной пластины 3. Контакт-

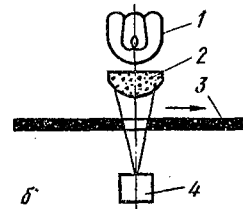
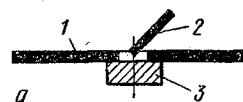


Рис. 288. Считывающее устройство

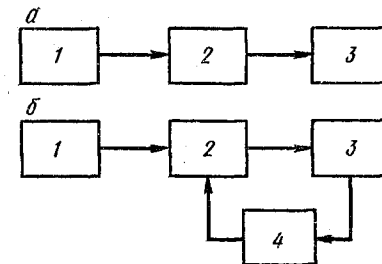


Рис. 289. Блок-схема станков с программным управлением

ные щетки 2, представляющие собой пучок стальных проволок, торцовая поверхность которых отшлифована под углом, опираются на поверхность ленты. При чтении программы перфокарта и ее строки подводятся к щеткам. Щетки, совмещенные с отверстиями перфоленты, соприкасаются с контактной пластиной, к которой подведен ток, и через эти щетки подаются электрические сигналы. Более совершенной является схема с ощупывающим штифтом.

При бесконтактном фотоэлектрическом методе (рис. 288, б) с одной стороны перфоленты или перфокарты 3 располагается фотоэлемент 4, а с другой стороны — электролампа 1 и линза 2. Освещенный фотоэлемент

подает электрический сигнал, который нуждается в дополнительном усилении.

В узле программы все сведения и указания (информация), необходимые для выполнения технологического процесса, обычно преобразуются в электрические импульсы, которые направляются в *узел управления*. В узле управления команды, поступающие из узла программы,

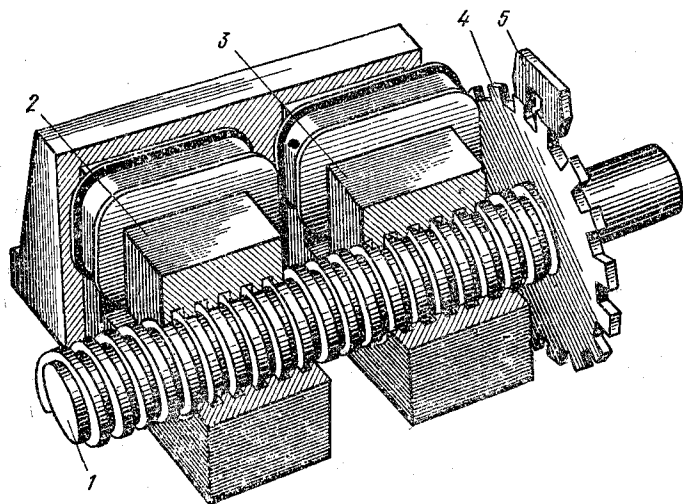


Рис. 290. Индуктивный датчик

расшифровываются и перерабатываются с целью управления приводом исполнительных механизмов станка.

Узел исполнительных механизмов станка называется узел, объединяющий все механизмы и устройства, выполняющие заданную программу, например суппорт токарного станка, стол фрезерного станка и т. п.

Блок-схема станка с *разомкнутой системой* (рис. 289, а) состоит из узла программы 1, узла управления 2, исполнительного механизма 3. Особенностью разомкнутых систем является отсутствие устройств для контроля выполнения команд. Эти системы отличаются простотой, но дают меньшую точность по сравнению с замкнутыми системами.

Замкнутые системы (рис. 289, б) имеют дополнительный узел обратной связи 4. Функцию обратной связи

обычно выполняют датчики, связанные с движущимися частями станка и сигнализирующие о действительном перемещении рабочего органа.

Индуктивный датчик (рис. 290) представляет собой точно изготовленный винт 1, выполняющий функции измерительной линейки. Сердечником датчика служат две связанные между собой гайки 2 и 3, причем одна гайка смещена по отношению к другой на четверть шага винта. Внутренний диаметр гаек несколько больше наружного диаметра винта. Гайки движутся вместе со столом станка, отсчитывая целое число шагов. Винт 1 может поворачиваться с зубчатым диском 4, который жестко с ним связан. При вращении винта зубья диска проходят мимо башмаков 5, укрепленных на станке. Зубчатый диск и башмаки образуют вторую измерительную систему, отсчитывающую доли поворота винта, т. е. доли целого шага.

Таким образом, в рассматриваемом случае необходимо иметь две системы отсчета: одну для отчета целого числа шагов (грубых перемещений), другую для отсчета точных перемещений в пределах одного шага.

Самонастраивающаяся (адаптивная) система управления обеспечивает работу по заранее подготовленной (исходной) программе с автоматической корректировкой ее в зависимости от действительных условий работы.

Замкнутые системы не в состоянии устранить все погрешности, возникающие вследствие жесткости заготовок, силовых и температурных деформаций СПИД, износа инструмента и т. д., так как в этих системах датчики обратной связи связаны с ходовым винтом станка или его столом.

В самонастраивающихся системах работа может протекать следующим образом: первая деталь обрабатывается по исходной программе, автоматически измеряется, и результаты измерения запоминаются устройством памяти станка; полученная информация используется блоком самонастройки для коррекции программы обработки следующей детали. Для этого блок самонастройки сравнивает результаты измерений с исходной программой. В отличие от замкнутой системы эта система оснащается дополнительными устройствами для получения информации о реальном протекании работы, которые обеспечивают оптимальное качество системы.

Программирование может быть ручным и автоматическим. При обработке сравнительно простых деталей применяется ручное программирование. При обработке объемных деталей сложной формы применяется автоматическое программирование.

Процесс ручного программирования деталей следующий:

1. Разрабатывается программа движений всех рабочих органов станка. Эта работа выполняется технологом-программистом, который намечает последовательность операций при обработке данной детали и подбирает режимы резания и режущий инструмент в соответствии с технологическими возможностями станка. Все эти данные заносятся в технологическую карту обработки.

2. Заполняется специальная карта, куда заносятся координаты опорных точек траектории движения инструмента и детали, а также другие дополнительные данные, например координаты центров кривых и т. п.

3. Оператор, согласно операционной карте, записывает координаты движения режущих инструментов в виде кода на перфокарте путем пробивки соответствующих отверстий.

Для записи числа в десятичном коде необходим участок перфокарты или перфоленты из 10 строк, которые занумерованы от 0 до 9, причем количество вертикальных дорожек равно количеству знаков в числе. Например, для записи трехзначного числа необходимы три вертикальные дорожки (рис. 291, а), пятизначного — пять вертикальных дорожек и т. д. Единицы записываются в первой (правой) дорожке, десятки — во второй, сотни — в третьей и т. д. На рис. 291, а зафиксировано число 345. Для трехзначного числа в десятичной системе требуется три строчки и $3 \times 10 = 30$ точек для пробивки отверстий.

Для записи в двоичном коде необходимо число представить как сумму чисел, каждое из которых является степенью числа 2. Например, число 345 можно записать следующим образом: $345 = 1 \cdot 2^8 + 0 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$. Соответственно в двоичной системе число 345 запишется в виде 101011001, а на перфоленте изобразится в форме, представленной на рис. 291, б. Для записи трехзначного числа в двоичной системе требуется лишь одна строчка и 9 точек для про-

бивки отверстий. В двоичной системе все числа изображаются при помощи двух цифр 1 и 0. Единица соответствует наличию сигнала, т. е. отверстие пробито, нуль — отсутствию сигнала, т. е. отверстия нет. При двоичной системе величина программносителя может быть уменьшена, а система управления станка упрощена.

Находит также применение двоично-десятичный код. Здесь сохраняются десятичные разряды (разряды единиц, десятков, сотен и т. д.), но цифра в каждом из разрядов записывается двоичным кодом.

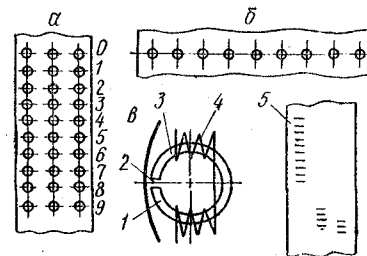


Рис. 291. Запись программ на перфорированной (а, б) и магнитной (в) лентах

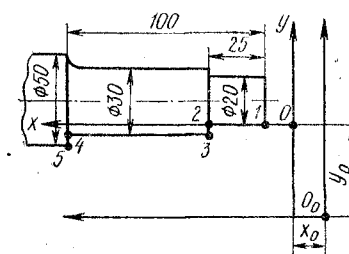


Рис. 292. Опорные точки при обработке валика

Ниже приведена методика разработки программы для обработки валика ступенчатой формы (рис. 292).

1. Выбирают на заготовке точку O , которая занимает определенное положение относительно абсолютного начала координат O_0 и служит относительным началом координат. Абсолютное начало координат является одной из неподвижных точек станка. Координаты x_0 и y_0 должны быть точно выражены при установке и закреплении детали.

2. Намечают траекторию движения вершины инструмента относительно детали.

3. Разбивают контур детали или траекторию относительного перемещения инструмента на отдельные участки. Точки перехода от одного участка к другому называют опорными точками (1, 2, 3 и т. д.). В процессе обработки детали, изображенной на рис. 292, перемещается одновременно только один суппорт: на участке 1—2 и 3—4 продольный суппорт, на участках 2—3 и 4—5 — поперечный суппорт.

Таблица 11
ОПЕРАЦИОННАЯ КАРТА

№ перехода	Обозначение участка	Характер контура	Продольная подача			Поперечная подача		
			Длина пути, мм	число импульсов в серии	знак подачи	Длина пути, мм	число импульсов в серии	знак подачи
1	0—1	Прямая линия	10	10	+	—	—	—
2	1—2		25	250	+	—	—	—
3	2—3		—	—	—	5	50	+
4	3—4		75	750	+	—	—	—
5	4—5		—	—	—	10	100	+

4. Вычисляют координаты всех опорных точек. За начало координат принимают точку *O*.

5. Все полученные данные заносят в специальную операционную карту (табл. 11).

При применении в системе программного управления шагового двигателя, обеспечивающего дозированное перемещение суппорта при подаче импульса, в таблицу вводят величину хода суппорта. Зная цену импульса, находят их число, которое необходимо задавать для получения требуемого перемещения. Скорость перемещения задается частотой импульсов.

Процесс автоматического программирования состоит из описания технологом-программистом геометрии и технологии обработки детали языком, понятным для ЭВМ, нанесения этой информации на промежуточную перфоленту, разработки и записи с помощью ЭВМ программы на перфоленту или магнитную ленту.

Магнитная лента изготовлена из ацетилцеллюлозы толщиной 0,03 мм, на которую наносится слой ферромагнитной эмульсии. Для записи программы применяются электромагнитные головки (рис. 291, *в*). Сердечник головки состоит из двух полуколец 1, 3, между концами которых имеется зазор 2 шириной 0,01—0,02 мм. На сердечнике установлены катушки 4. При пропускании через катушки переменного тока требуемой частоты на равномерно движущейся ленте 5 образуются поперечные маг-

нитные штрихи. Если теперь ленту перемещать мимо магнитной головки, то в ее сердечнике возникает переменный ток, возбуждающий электродвижущую силу в обмотках катушки. Каждому штриху соответствует один импульс тока. Импульсы устанавливаются усилителями, после чего они становятся командными импульсами, непосредственно управляющими исполнительными механизмами.

6. По разработанной программе производится обработка детали.

4. ТОКАРНЫЙ СТАНОК МОДЕЛИ 1К62М С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Назначение станка — обработка деталей в центрах и в патроне по полуавтоматическому циклу. Станок имеет упрощенную коробку скоростей, построенную на базе коробки 1К62, что позволяет получить 12 различных чисел оборотов (от 200 до 2000 об/мин) при числе оборотов электродвигателя $n=1450$ об/мин. Двигатель имеет два числа оборотов в минуту — 720 и 1450. При $n=720$ об/мин можно получить еще 12 оборотов шпинделя в пределах от 100 до 1000 об/мин.

Для быстрых перемещений суппорта в четырех направлениях в станке предусмотрен электродвигатель, который передает движение ходовому валу через ременную передачу.

Наличие электромагнитных муфт и тормозов обеспечивает быстрое включение и торможение поперечного хода при одновременном выключении продольного хода и наоборот.

В станке имеется ряд устройств, позволяющих вести обработку детали по заданной программе с достаточной точностью: командоаппарат, копировальное устройство, пневматическое устройство.

Командоаппарат (рис. 293, *а*) предназначен для сообщения следующих команд: начало и конец цикла, быстрый подвод к оси шпинделя, быстрый ход направо для начала второго прохода, быстрый подвод суппорта на прорезание канавок, рабочая подача на прорезание канавок, быстрый отвод каретки в исходное положение, большая и меньшая подача первого и второго прохода.

Командоаппарат установлен на правом торце стани-

ны. На его валу закреплены четыре текстолитовых барабана 1, на внешней поверхности которых установлены латунные втулки. Вал получает вращение от шкива 3, связанного тросом 2 с суппортом станка. Натягивается

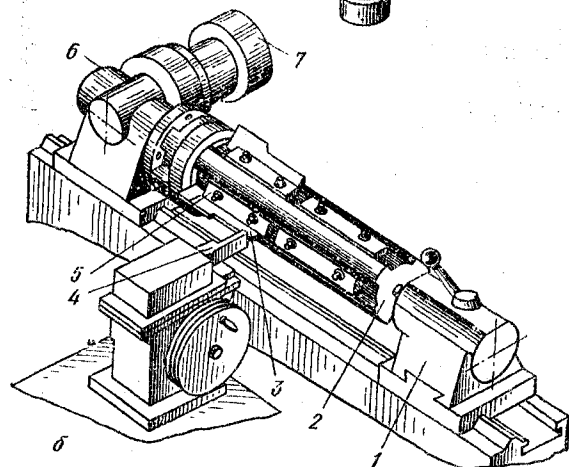
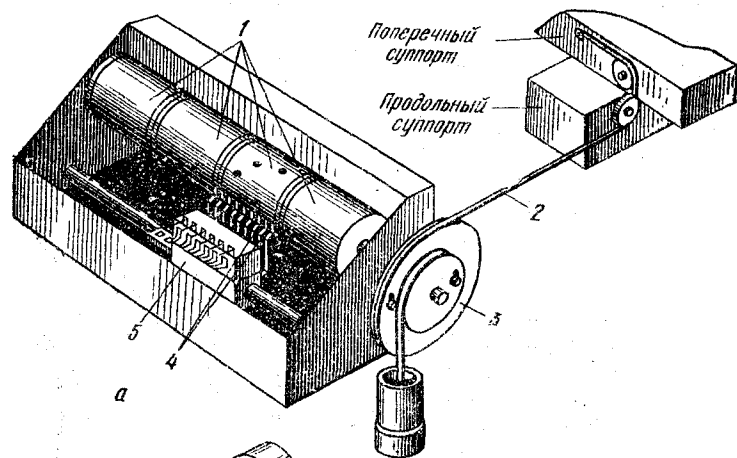


Рис. 293. Компаратор (а) и копировальное устройство (б)

трос грузом. На барабанах прижимными планками крепятся перфокарты с записанной программой обработки для четырех деталей. Перфокарты, представляющие собой листы ватмана размером 84×310 мм и толщиной

0,25 мм, имеют десять строчек, по которым в требуемых местах пробиваются отверстия диаметром 5 мм.

Подвижная каретка 5 имеет подпружиненные контакты 4 и устанавливается против той карты, по которой запрограммирован технологический процесс заданной детали, после чего она закрепляется. При вращении барабанов с перфокартами контакты 4 скользят по ним и, попадая в отверстия, замыкают электрические цепи. При этом подаются команды для перемещения узлов станка в соответствии с запрограммированным циклом работы.

Копировальное устройство (рис. 293, б) состоит из шаблондержателя 2 с копирами-шаблонами 3, бабок 1 и 6 и электрощупа 4. Оно расположено с задней стороны станка параллельно оси шпинделя. Программоносителем копировального устройства являются плоские копиры-шаблоны 3, расположенные в шаблондержателе. Последний представляет собой оправку с пазами, в которых закреплены клиньями 5 восемь шаблонов 3 — четыре для черновой обработки и четыре для чистовой. Шаблондержатель устанавливается в центрах левой и правой бабок. Левая бабка 6 имеет пневмоцилиндр 7 для автоматического поворота шаблондержателя при переходе с черновой на чистовую обработку. При переходе к обработке другой детали шаблондержатель поворачивается вручную.

Бабки установлены на брус, прикрепленном к станине станка. На суппорте установлен кронштейн электрощупа 4, который имеет ручное наладочное перемещение. Электрощуп имеет три рабочих и один аварийный контакт, с помощью которых он управляет электромагнитными муфтами подачи. При продольном перемещении суппорта с электрощупом, контактирующим с поверхностью копира, возможны пять позиций контактов, обеспечивающих все необходимые включения муфт.

Пневматическое устройство (рис. 294) выполняет следующие функции: подводит и отводит пиноль с помощью пневматического цилиндра, установленного на задней бабке; включает черновую и чистовую подачу при помощи пневмоцилиндра с рейкой, которые переключают блоки шестерен коробки подачи; поворачивает при помощи пневмоцилиндра шаблондержатель для замены чернового шаблона чистовым.

Воздух из заводской сети через проходной клапан 1 и обратный клапан 2 поступает в ресивер 3, представляющий собой сосуд для скапливания воздуха и компенсации колебаний давления. Из ресивера 3 через проходной клапан 14, фильтр-влагодетель 15, регулятор давления 16 и маслораспылитель 17 воздух подают на панель распределения 6, где расположены три воздухо-распределительные коробки 9. Назначение маслораспылителя —

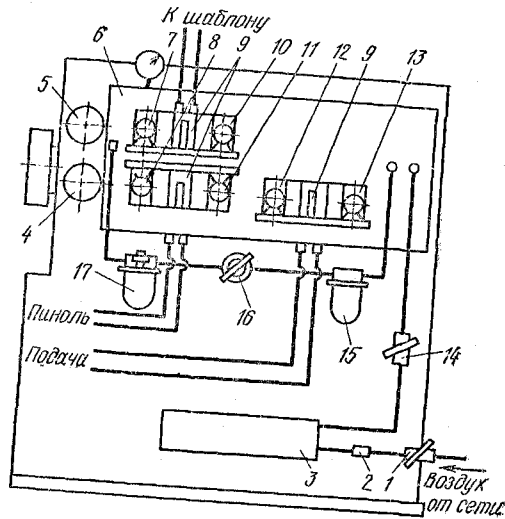


Рис. 294. Пневматическая схема

подавать распыленное масло для смазки аппаратов пневмопривода.

Реле давления 4 и 5 контролируют давление в системе.

Каждая золотниковая коробка снабжена двумя электромагнитами: 7 и 10, 8 и 11, 12 и 13. Соответствующим включением этих электромагнитов обеспечивается подача воздуха в три пневмоцилиндра, один из которых обеспечивает поворот шаблондержателя, второй — отвод и подвод пиноли, третий — включение черновой и чистовой подачи.

В исходном положении соответствующим включением трех электромагнитов включается черновая подача, черновой шаблон устанавливается в горизонтальное поло-

жение, подводится пиноль и поджимается деталь. Начинается черновой проход. По окончании чернового прохода включаются другие электромагниты. В результате шаблон для чистовой обработки устанавливается в рабочее положение, включается чистовая подача. Начиная чистовой проход. По окончании обработки переключаются электромагниты, и золотники устанавливаются в исходное положение. После установки новой детали цикл повторяется.

Токарный станок модели 1К62П4 с числовым программным управлением

Назначение станка — обработка тел вращения сложного профиля в один или несколько проходов по автоматическому циклу. Программируются траектория движения инструмента и величина рабочих подач. Числа оборотов шпинделя устанавливаются вручную.

В станке применена двухкоординатная непрерывная (контурная) система управления с шаговым приводом. Датчики обратной связи отсутствуют. Программоносителем является магнитная лента с десятью дорожками шириной 35 мм. Точность обработанных на этом станке деталей достигает 3-го и 2-го класса. Чистота обработки не ниже 6-го класса. Производительность труда по сравнению со станком модели 1К62 в два — три раза выше.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

К работе на металлорежущих станках допускаются только лица, изучившие соответствующие правила техники безопасности. Для работающих на станках особую опасность представляет следующее: наличие неогражденных движущихся, особенно вращающихся, выступающих частей станка, отсутствие ограждений или других защитных средств от стружки, вырывающейся с большой скоростью из зоны резания; плохое закрепление обрабатываемых заготовок и инструмента; наличие незащищенных токопроводящих элементов оборудования и т. д.

На токарных станках не допускается устанавливать поводковые и другие патроны с выступающими частями,

если такие патроны или другие приспособления не снабжены защитными кожухами. Для защиты от стружки на токарных и других станках надо устанавливать огражденные экраны из плексигласа или другого прозрачного материала, чтобы работающий мог следить за ходом процесса. Если при точении идет сливная стружка, необходимо применять различные средства для стружкодробления, в частности стружколомающие устройства на резцах, кинематическое дробление стружки за счет прерывистой подачи и др. Мелкую сыпучую стружку следует улавливать созданием у зоны резания вакуума с последующим удалением ее от станка пневмотранспортом.

Шлифовальные круги перед установкой на станок необходимо тщательно контролировать: простукивать деревянным молотком для выявления трещин; круги, имеющие трещины, подвергать испытаниям на прочность на специальном стенде, при вращении со скоростью, превышающей рабочую скорость на 50%. Кроме того, на шлифовальных станках следует применять защитные жесткие кожухи к кругам. Защитные щитки необходимо устанавливать на металлорежущих станках также для предотвращения попадания брызг смазочно-охлаждающей жидкости на руки рабочего, поскольку минеральные масла, керосин и др. при длительном воздействии могут вызывать кожные заболевания.

При использовании легковоспламеняющихся жидкостей, а также при обработке легковоспламеняющихся сплавов магния следует рабочие места обеспечивать противопожарными средствами.

VIII РАЗДЕЛ

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Общие сведения

Электрофизические и электрохимические способы обработки металлов и сплавов получают все более широкое применение в машиностроении и металлообработке. Этими способами обрабатывают материалы, которые обычными механическими методами трудно или вообще невозможно обработать.

При использовании указанных методов удаление металла производится в результате термического, химического или комбинированного действия электрического тока, подводимого к детали и инструменту. Воздействие электрического тока может проявляться в виде нагревания металла до температуры его плавления или электрохимического (анодного) растворения. При удалении металла электрическими методами не требуется воздействия каких-либо внешних механических сил.

Следовательно, основная особенность электрических методов обработки заключается в том, что ими можно обрабатывать токопроводящие материалы любой твердости, не поддающиеся обработке резанием.

К электрофизическим и электрохимическим методам обработки металлов и сплавов относятся электроискровой, электроимпульсный, электроконтактный, анодно-механический, электрохимический, химико-механический, ультразвуковой, лучевые и некоторые другие.

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

1. ЭЛЕКТРОИСКРОВАЯ ОБРАБОТКА

Этот процесс открыт, исследован, разработан для промышленного применения лауреатами Государственной премии Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко в 1943 г. Его успешно применяют для получения отверстий различной формы, с криволинейными осями и очень малых диаметров, фасонных полостей, профильных канавок и пазов в деталях из твердых сплавов и закаленных сталей в штампах, пресс-формах, волоочильных глазков, узких щелей, сит, режущем инструменте, для упрочнения поверхности инструментов, извлечение из отверстий сломанных сверл, метчиков, винтов, шпилек, болтов, для электропечатания, электрозаписи и других видов обработки.

Электроискровой способ обработки основан на явлении электрической эрозии, т. е. явления разрушения поверхности металла под действием электрических искровых разрядов.

К инструменту и детали, которую надо обработать, подводится постоянный ток определенной силы и напряжения, при этом инструмент и обрабатываемая деталь являются электродами. Если инструмент (катод) приближать к детали (аноду), то при определенном расстоянии Δ между ними этот промежуток (пробивной зазор) под действием электрического поля начнет пробиваться электронами. В узком промежутке Δ (около 0,05 мм при напряжении 220 В и емкости 200—400 мкФ) образуется интенсивный электрический поток, переносящий с собой значительное количество электричества. В месте пробоя возникает высокая температура (от 6 до 40 тыс. °С и более), расплавляющая и даже испаряющая любой металл, который выбрасывается в виде жидких шаровидных частиц — электрическая эрозия.

В зависимости от длительности разряда изменяется глубина распространения тепла в электродах и характер их разрушения; при кратковременных (искровых) разрядах длительностью 10^{-4} — 10^{-6} с тепло распространяет-

ся на очень малый объем металла, который, расплавляясь и частично испаряясь, удаляется, оставляя углубление — лунку (точно воспроизводя форму инструмента). При более длительных разрядах (10^{-3} с и более) и особенно при непрерывном (дуговом) разряде тепло распространяется на больший объем металла и количество вырывающегося из электрода-изделия металла увеличивается, вследствие чего точного воспроизведения формы инструмента на металле (детали) не произойдет.

Интенсивность и длительность искрового разряда меняются в зависимости от емкости, силы тока, напряжения и источника питания, состава материалов электродов (инструмента — катода, детали — анода) состава и состояния рабочих сред, искрового промежутка Δ между инструментом и деталью.

Емкость служит для того, чтобы накопить энергию и мгновенно выделить ее в виде сильного электроискрового разряда. Емкость, применяемая при электроискровом способе обработки металлов, составляет от 0,25 до 600 мкФ. Сила тока и напряжение устанавливаются в зависимости от вида обработки (от 0,2 до 300 А и от 10 до 220 В). С уменьшением емкости, силы тока и напряжения качество обработки повышается.

Чтобы частицы металла, вырванные разрядом из электрода-изделия, не попадали на электрод-инструмент и не искажали его формы, искровой промежуток Δ заполняется токонепроводящей жидкостью (керосин, минеральные масла). Жидкая среда останавливает полет частиц выплавляемого металла. При этом жидкость препятствует расширению зоны действия разряда и способствует концентрации тепловой энергии разряда на малом участке поверхности. Электрод-инструмент изготавливают из латуни, меди, алюминия, реже из чугуна, медно-или углеграфитовой массы и вольфрама.

Станок для электроискровой обработки (рис. 295) имеет металлическую ванну 3 с жидкостью, в которую погружается обрабатываемая деталь 2, соединяемая с положительным знаком 8 источника постоянного тока. Инструмент 4 соединен с отрицательным зажимом 7 и выполняет функцию катода. Он закреплен в ползуне 5, совершающем вертикальные перемещения вверх и вниз в направляющих 6, и изолирован от ползуна 5. Металлическая ванна изолирована от стола станка прокладка-

ми из изоляционного материала (асбеста, гетинакса, резины и т. п.). Электрический ток идет от отрицательного зажима 7 по проводам к электроду 4, от него через заполненный жидкостью (керосином) промежуток (зазор) к детали 2, расположенной на подставках 1, а от нее по проводам — к положительному зажиму 8. При опускании электрода 4 и приближении его к поверхности детали (без касания) между ними возникает электрический разряд, проскакивает искра. Сила тока регулируется сопротивлением 9. Для получения мощных импульсных разря-

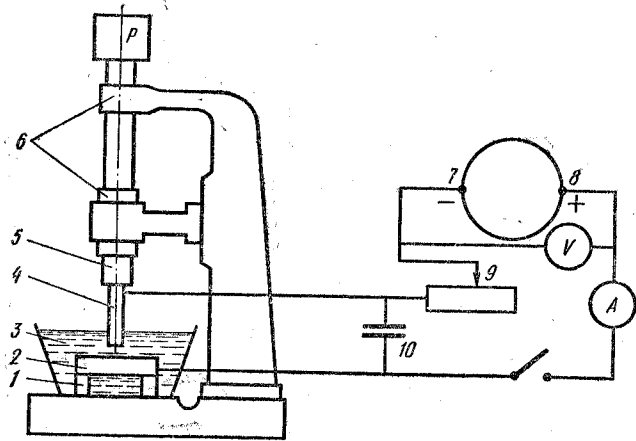


Рис. 295. Общий вид электронскового прошивочно-копировального станка модели 18М2

дов, непрерывно следующих один за другим, в электрическую цепь параллельно детали 2 и электроду-инструменту 4 включена конденсаторная батарея 10.

2. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ ОБРАБОТКА

В процессе обработки этим методом металл разрушается под воздействием электродуговых разрядов, возникающих в результате контактирования и быстрого перемещения (вращения) электрода-инструмента относительно обрабатываемой заготовки (детали).

Этот процесс весьма производителен и эффективен при выполнении таких черновых операций, как резка за-

готовок, обдирка отливок или слитков; очистка от окалины, заточка инструмента, плоское шлифование, обработка круглых заготовок, а также для сглаживания шероховатостей поверхности металлических изделий, прошивки

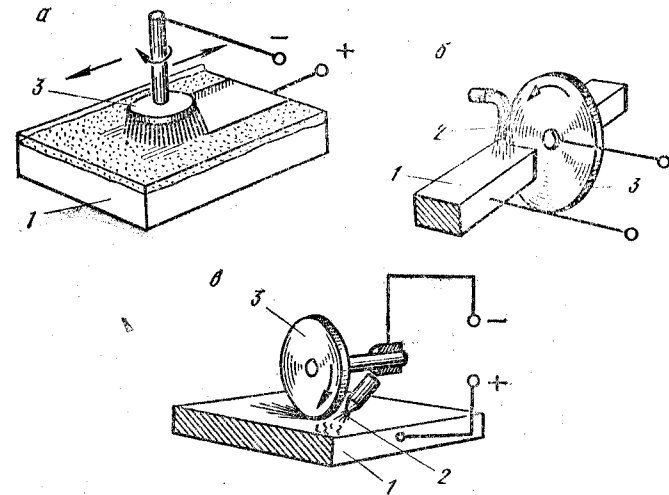


Рис. 296. Схемы различных видов электроконтактной обработки металлов:

1 — обрабатываемая заготовка; 2 — согло для подачи охлаждающей среды; 3 — инструмент (обычно стальной диск); а — зачистка поверхности; б — резка заготовки; в — шлифование

отверстий и другой черновой обработки плоских и криволинейных поверхностей, например, шаров (рис. 296).

Соприкосновение двух металлических электродов — обрабатываемой заготовки и инструмента (диска из углеродистой стали) — приводит к образованию в месте реза (контакта) повышенного переходного сопротивления. Чтобы предотвратить плавление режущего диска (инструмента), ему придают скорость вращения 40—80 м/с или охлаждают.

При пропуске переменного (реже постоянного) электрического тока большой плотности и соприкосновении инструмента со вторым электродом — деталью происходит разогрев, размягчение и расплавление поверхностного слоя (частиц металла или окалины). Быстро вращающийся инструмент уносит эти частицы. Процесс

осуществляется при напряжении 10—25В и незначительном давлении одного электрода на другой (0,3—0,5 кгс/см²) в среде минерального масла, а иногда в водяной или воздушной среде. Производительность процесса высокая и достигает при грубом режиме $7 \cdot 10^5$ мм³/мин.

3. АНОДНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Процесс анодно-механической обработки изобретен и разработан в СССР лауреатом Государственной премии В. Н. Гусевым. Этот способ применяют для разрезания заготовок из стального проката, затачивания режущего инструмента из твердых сплавов, шлифования плоских и цилиндрических поверхностей, доводки штампов и матриц, обдирки отливок и т. п. (рис. 297). Сущность анодно-механического способа обработки металлов заключается в том, что обрабатываемая деталь соединяется с

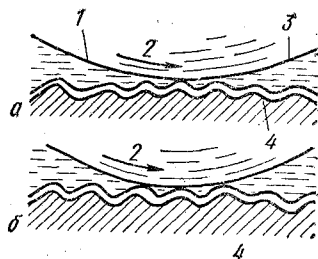


Рис. 297. Схема процессов анодно-механической обработки металлов:

а — электрохимическое растворение, образование пленки и ее снятие вращающимся диском; б — электрическая эрозия в результате пробоя промежутка между выступами изделия и диска; 1 — пленка; 2 — диск; 3 — рабочая жидкость; 4 — изделие

положительным полюсом источника постоянного тока, а инструмент — с отрицательным.

В зазор между инструментом и обрабатываемой деталью подводится специальная рабочая жидкость — электролит (им является почти всегда водный раствор силикатов натрия, а при отделочном шлифовании водные растворы солей), обладающий свойством образовывать на поверхности изделия пленку, плохо проводящую электрический ток. Инструмент двигается (скользит) по участку обрабатываемой поверхности детали и легко удаляет значительную часть пленки. Затем пленка образуется вновь и удаляется до тех пор, пока детали не будут приданы заданные размеры и формы.

В зависимости от электрического режима анодно-механической обработки возникают процессы снятия метал-

ла с детали. При небольших напряжениях в цепи питания происходит процесс электромеханического (анодного) растворения металла — электрохимический процесс, а при высоких напряжениях и большой силе тока развивается тепловое действие электротехнического тока и характер процесса приближается к эрозионному. В последнем случае металл на обрабатываемой поверхности плавится, и скорость снятия его по сравнению с электрохимическим растворением металла резко возрастает.

Таким образом, анодно-механический способ обработки основан на использовании электрохимического и теплового действия электрического тока.

При чистой анодно-механической обработке процесс протекает в среде жидкого стекла при напряжении на электродах 10—12В. При чистовом шлифовании достигаются точность 2—3-го класса, а чистота $\nabla 8$ — $\nabla 10$ -го классов. Однако производительность этого процесса составляет всего 2—10 мм³/мин.

Глава II

ХИМИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

1. СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ

Электроэрозионные методы обработки металлов и сплавов не обеспечивают решения многих задач, возникающих при обработке твердых сплавов, тугоплавких, активных металлов и других металлических материалов, которые трудно или совершенно не поддаются механической обработке. Некоторые задачи успешно решаются на основе химического взаимодействия. В процессе изучения химического воздействия различных реактивов на металл установлено, что продуктом реакции образуется в виде пленки, изолирующей металл от реактива и препятствующей дальнейшему протеканию реакции. Если пленку удалить, то реакция возобновится, в результате чего возникает новый слой пленки, который, достигнув определенной толщины, вновь препятствует протеканию реакции

и т. д. Возможность обеспечения определенного состава и свойств пленки, скорости ее образования и удаления делает процесс управляемым.

Пленку можно создавать пористой, самопроизвольно выпадающей в раствор, или плотной и прочной, требующей для ее удаления механического воздействия. В первом случае происходит химический процесс, называемый химической обработкой, во втором — химический процесс, сопровождаемый механическим воздействием, или химико-механическая обработка металлов.

Электрохимическая обработка основана на электрохимическом (анодном) растворении металлов. Сущность процесса заключается в том, что между электродами (анодом служит обрабатываемая деталь), помещенными в среду электролита (раствора, способного распадаться на ионы), пропускают постоянный электрический ток. В электролите возникает электрическое поле, в котором положительно заряженные ионы (катионы) направляются к катоду, а отрицательные (анионы) — к аноду. Достигнув электродов, ионы нейтрализуют свои заряды и превращаются в атомы соответствующих веществ. Управление процессом обеспечивает растворение анода и удаление с него образующихся при этом в виде пленок продуктов электрохимической реакции — поверхностного слоя обрабатываемой детали.

Так же как и при химической обработке (без наложения электрического тока), пленка может быть образована вязкая (растворимая) или прочная (нерастворимая).

В случае получения вязкой пленки удаление ее производится под действием непрерывного потока электролита между электродами. Такую обработку называют размерной электрохимической обработкой в проточном электролите. При образовании прочной пленки ее удаляют механическим путем. Такой способ обработки называют электрохимико-механическим.

2. ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Химическая обработка металлов нашла применение в промышленности в виде процессов химического фрезерования, клеймения и др.

Химическое фрезерование применяется для образования фасонных поверхностей как у миниатюрных, так и

у крупных деталей из любых металлов и сплавов; в частности, для уменьшения массы детали или толщины ребер детали до величин, которые ни литьем, ни штамповкой, ни механической обработкой получить невозможно или весьма трудно и экономически невыгодно; для образования перемешанного сечения стенок деталей и т. п. Иногда этот процесс применяется для удаления поверхностного слоя металла с нарушенной после механической обработки структурой.

Процесс протекает в такой последовательности: участки, не подлежащие обработке, изолируются защитными покрытиями (полимерными лаками, резиновым или нитроклеем), после чего заготовки погружают в наиболее эффективный для данного обрабатываемого металла травильный раствор. После обработки детали тщательно промывают и сушат, а также очищают от остатков защитных покрытий.

Производительность процесса по толщине снимаемого слоя колеблется в пределах 0,025—0,1 мм/мин. Точность обработки от $\pm 0,5$ до $\pm 0,015$ мм, шероховатость поверхности $\nabla 4$ — $\nabla 5$ -го классов.

3. ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Химико-механической обработкой достигают формирования металлических заготовок в результате протекания химических и электрохимических реакций с применением поверхностно активных и химически активных веществ или электролитов (растворов солей, в основном сульфата меди). Заготовки могут быть из черных и цветных металлов и сплавов, а также из металлокерамических сплавов.

Химико-механическая обработка в среде электролита нашла применение при шлифовании опорных плоскостей твердосплавных пластинок под напайку или установку (при механическом закреплении), а также для заточки твердосплавного режущего инструмента.

Неоднородность в электрохимическом отношении твердых сплавов (зерна карбидов являются электроположительным, а участки кобальта — электроотрицательными элементами) приводит к возникновению гальванических микрочелюстей и нежелательному коррозионному разрушению кобальтовой связи.

Наиболее эффективными ускорителями возникающего коррозионного процесса являются соли электроположительных металлов.

Этот процесс протекает при температуре суспензии около 45° С, что исключает возможность растрескивания пластин. Отсутствие штрихов обработки позволяет визуально обнаружить трещины и другие пороки на обработанной поверхности. Шлифование инструмента (заточка) под необходимыми углами производится на этом же станке с помощью специальных установочных приспособлений.

Химико-механическое шлифование обеспечивает шероховатость поверхности $\nabla 8$ — $\nabla 9$ -го классов, а с применением абразива малой зернистости — до $\nabla 11$ -го класса.

Химико-механической обработкой выполняют также притирку, чистовую доводку и шлифование поверхности изделий, а также их разрезание, если в качестве притира применять диск. Кроме того, этим способом производят химическое фрезерование титана, алюминиевых, магниевых и ряда других сплавов.

4. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Этот вид обработки металлов протекает без механического воздействия какого бы то ни было инструмента на удаление продуктов реакции.

Ниже рассмотрены два процесса электрохимической обработки: сверление отверстий (предложено В. Н. Гусевым в 1952 г.) и широко распространенный процесс — электрохимическое полирование.

Электрохимическое сверление производится в проточном электролите. При этом подбирают такой электролит, который обеспечивает осуществление анодного растворения с образованием выпадающих в осадок продуктов электролиза.

В зависимости от формы электрода-инструмента в поперечном сечении отверстия также получают разную форму. При небольших межэлектродных зазорах и интенсивном притоке электролита плотность тока достигает 200—300 А/см², а линейная скорость съема металла — до 6,0 мм/мин. Шероховатость обработанной поверхности $\nabla 8$ — $\nabla 9$ -го классов. Точность обработки до $\pm 0,02$ мм.

Преимущества электрохимического полирования: возможность полирования труднодоступных поверхностей; отсутствие деформаций и структурных изменений на полированной поверхности; доступность автоматизации процессов и высокая производительность; значительно оздоравливаются и облегчаются условия труда рабочих.

5. ЭЛЕКТРОХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Электрохимико-механическая обработка металлов применяется в основном для шлифования металлов и твердых сплавов, значительно повышая производительность (до двух раз и более) против обычного шлифования.

Существует две разновидности электрохимико-механического шлифования с применением в качестве инструмента-электрода токоподводящего шлифования круга и электронейтрального инструмента — токонепроводящего шлифовального круга.

В первом случае пользуются электроабразивными кругами, т. е. кругами с электропроводным наполнителем или токопроводящими алмазными шлифовальными кругами.

Корундовые или алмазные зерна, выступающие из токопроводящей связки, образуют щель между связкой круга и обрабатываемой деталью, в которую поступает электролит. Образующаяся в результате анодного растворения твердая пленка удаляется выступающими зернами круга.

Введение постоянного тока напряжением 8—10 В при плотности тока до 500 А/см², создавая анодное растворение поверхностного слоя шлифуемой детали, обеспечивает высокий съем металла до 1000 мм³/мин с 1 см² при работе алмазным кругом. Одновременно достигается точность 2-го и даже 1-го класса, шероховатость поверхности $\nabla 7$ — $\nabla 8$ -го классов, при доводочных режимах (с припуском 0,01—0,05 мм) — $\nabla 10$ — $\nabla 12$ -го классов.

К преимуществам процесса относятся возможность шлифования любых металлов независимо от их твердости и вязкости (в том числе алмазное шлифование стальных деталей), отсутствие дуговых и искровых разрядов, исключаяющее плавление металла и наличие кратеров на электродах. Обильное охлаждение электролитами, в ка-

честве которых применяют слабые безвредные растворы солей, исключает необходимость вентиляции.

Недостатки процесса: большая плотность тока, что влечет за собой потребность в мощных источниках постоянного тока, а также большой расход электролита. Из-за сложности поддержания постоянного зазора и равномерного течения электролита по всей обрабатываемой поверхности иногда не удается достичь требуемой точности обработки и требуемой микрогеометрии.

Этот процесс нашел применение при профилировании стружкозавивательных канавок и заточке твердосплавных резцов, при калибровке шлицевых отверстий в закаленных деталях, а также при шлифовании различных закаленных и твердосплавных деталей.

Электрохимическое шлифование электронейтральными кругами ведется по схеме, показанной на рис. 298. Через сопло-капот 3 электролит подается в межэлектродный зазор к обрабатываемой детали — аноду 2. Нейтральным токонепроводящим шлифовальным кругом 1 только удаляются продукты электрохимической реакции с обрабатываемой поверхностью.

Шлифование производят при определенном удельном давлении круга в пределах 0,5—5 кгс/см², низкой плотности тока 0,5—1,2 А/см², обычной окружной скорости шлифовального круга 20—30 м/с, обеспечивая точность 2-го класса и шероховатость $\nabla 8$ — $\nabla 9$ -го классов.

Этот процесс применяется чаще всего для наружного шлифования, а также для доводки брусками и хонингования отверстий. Процесс имеет в основном те же преимущества и недостатки, что и при токопроводящих кругах, но используемые круги дешевле; не требуются и мощные источники постоянного тока.

Этот процесс применяется чаще всего для наружного шлифования, а также для доводки брусками и хонингования отверстий. Процесс имеет в основном те же преимущества и недостатки, что и при токопроводящих кругах, но используемые круги дешевле; не требуются и мощные источники постоянного тока.

Этот процесс применяется чаще всего для наружного шлифования, а также для доводки брусками и хонингования отверстий. Процесс имеет в основном те же преимущества и недостатки, что и при токопроводящих кругах, но используемые круги дешевле; не требуются и мощные источники постоянного тока.

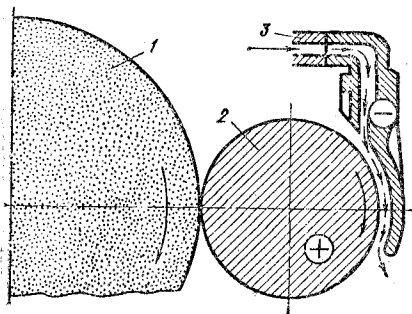


Рис. 298. Схема электрохимико-механического шлифования электронейтральными кругами

Глава III

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1. СУЩНОСТЬ МЕТОДА

Ультразвуковые методы обработки основаны на принципе использования упругих колебаний частотой свыше 16—30 кГц. Колебания частотой свыше 10 кГц принято называть ультразвуковыми колебаниями или ультразвуком.

Ультразвук используют в различных областях техники: для прошивки отверстий практически любого профиля, долбления полостей, разрезания, шлифования и других видов размерной обработки твердых и хрупких материалов; для воздействия на металлургические процессы (измельчение зерна при кристаллизации расплавов металлов, улучшение структуры при термообработке и др.); для очистки детали от окалины, ржавчины и других загрязнений; для пайки алюминия и его сплавов; для сварки металлов и пластмасс; для ускорения процесса никелирования и т. п.

Ультразвуковые колебания получают при помощи специальных устройств магнитоотриксционных излучателей. Принцип их действия основан на физическом явлении магнитоотриксции, т. е. способности к изменению размеров некоторых металлов (кобальта, никеля, их сплавов и др.), помещенных в переменном магнитном поле.

Сущность обработки поверхностей заготовок с использованием ультразвуковых колебаний основывается на том, что частицы абразива (30—100 тыс. на 1 см²), будучи взвешенными в воде или масле, непрерывно поступают под торцовую поверхность вибрирующего с ультразвуковой частотой инструмента. Съем материала происходит с поверхности, расположенной перпендикулярно к направлению колебаний инструмента. Циркуляция воды и масла в зоне обработки обеспечивает удаление выкрошенных частичек материала с обрабатываемой заготовки и притупившихся зерен абразива. В результате в обрабатываемой детали образуется углубление, соответствующее форме и размерам инструмента.

2. ПРОЦЕСС ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Главным движением при ультразвуковой обработке являются продольные колебания инструмента с ультразвуковой частотой.

Ультразвуковой станок модели 4770 (рис. 299) получает энергию от ультразвукового генератора, который пи-

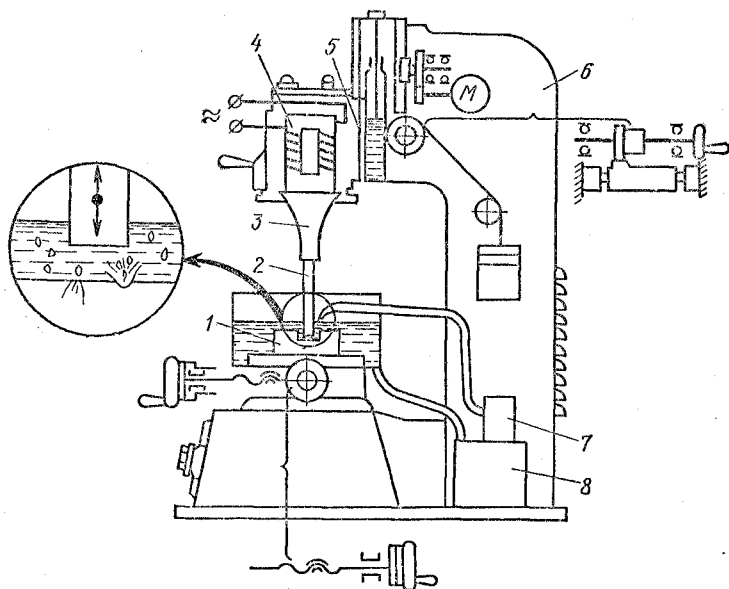


Рис. 299. Схема станка для ультразвуковой обработки

тается от сети переменного тока обычной частоты и вырабатывает переменный ток частотой 16—25 кГц. Ток подается на обмотку электромеханического преобразователя 4, изготовленного из пластин, материал которых обладает магнитоstrictionным эффектом, т. е. способностью изменять свои размеры при изменении магнитного поля. В преобразователе электромагнитные колебания превращаются в механические. Для увеличения амплитуды колебаний применяются концентратор 3. Амплитуда колебаний инструмента 2 составляет 10—100 мкм. Концент-

ратор с одной стороны связан с преобразователем, а с другой — с инструментом 2.

В зону обработки, т. е. в зазор между торцом инструмента 2 и деталью 1 с помощью насоса 7 из бака 8 подается абразивная суспензия. В качестве абразива применяются порошки из карбида кремния, окиси алюминия и карбида бора зернистостью № 90—120 в зависимости от требований чистоты поверхности. Ползун 5, уравновешенный контргрузом, перемещается по направляющим станины 6 и прижимает инструмент к обрабатываемой детали с определенной силой.

Процесс разрушения и снятие частиц с обрабатываемой заготовки осуществляется абразивными зернами, подаваемыми в виде потока суспензии в зону между торцом инструмента и обрабатываемой поверхностью детали. Выбивание частиц происходит благодаря колебаниям инструмента, не соприкасающегося с обрабатываемой деталью, но сообщаемого абразивным зернам чрезвычайно большое число направленных микроударов; поэтому обработке этим способом подвергают самые твердые и хрупкие металлические и неметаллические (например, керамика, стекло, полупроводниковые материалы и др.) материалы. Скорость обработки не находится в прямой зависимости от механических свойств материала. Незначительное повышение температуры в зоне обработки не изменяет свойств материалов, не вызывает трещин или коробления от тепловых деформаций.

Ультразвуковой обработкой может быть получено отверстие любой формы, которая зависит только от формы поперечного сечения инструмента. Точность обработки при соответствующих режимах может достигать 3-го и даже 2-го класса (а иногда и выше), шероховатость $\nabla 8$ — $\nabla 9$ -го классов.

Применяемые абразивы — карбид бора, карбид кремния и других материалов зернистостью от № 125 до М5 (величина зерна 3,5—12,5 мкм). Увеличение зернистости абразива повышает производительность, но одновременно увеличивает шероховатость поверхности. Скорость обработки твердых сплавов (ВК8, ВК15 и др.) составляет 0,5—0,3 мм/мин; закаленной стали (HRC 45—55) — 0,05—0,1 мм/мин; стекла, керамики, кварца — 2—7,5 мм/мин.

Промышленность серийно выпускает настольные станки малой мощности (0,4 кВт) моделей 4770 и 4770А,

средней мощности (1—3 кВт) моделей 4772 и 4772А, большой мощности (3—4 кВт) моделей 4773, 4773А и др., а также станки модели МЭ-22 для сверления алмазных фильер, модели УЗМ-5М для обработки минералов, модели УЗС-3 для обработки полупроводниковых материалов и т. д.

Можно повысить производительность и улучшить качество обработанной поверхности при обработке резанием введением ультразвуковых колебаний в систему резец — изделие. Установлено, что наиболее рационально и эффективно вводить колебания в направлении скорости резания, так как при этом уменьшаются усадка стружки и силы резания и улучшается чистота обработанной поверхности.

Обработку металлов резанием с наложением ультразвуковых колебаний производят при точении, сверлении, шлифовании.

В промышленности получила широкое применение ультразвуковая очистка металлов или точнее интенсификация ультразвуком процессов химического и электрохимического травления и очистки металла от окалины, различных поверхностных пленок и загрязнений.

Для осуществления ультразвуковой очистки промышленности изготавливают ультразвуковые ванны (типа УЗВ), ультразвуковые агрегаты (типа УЗА) и ультразвуковые установки (типа УЗУ).

Глава IV

ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

1. СУЩНОСТЬ МЕТОДА

В последние годы в СССР и за рубежом проведены большие научно-исследовательские работы, в результате которых в промышленности начали применяться методы лучевой обработки материалов. С помощью их производится обработка закаленных сталей, твердых сплавов, труднообрабатываемых материалов: вольфрама, молибдена, титана, тантала и др., а также алмазов, рубинов, кварца и других труднообрабатываемых материалов.

При лучевых способах обработки источником энергии для нагрева металлов и неметаллов служит луч — направленный концентрированный поток элементарных частиц. В лучевых методах обработки нашли применение электроны (в электроннолучевой, рис. 170) и фотоны (кванты света) в световой.

2. МЕТОД ОБРАБОТКИ СВЕТОВЫМ ЛУЧОМ

Процесс обработки световым лучом протекает аналогично процессу обработки электронным лучом и применяется для тех же целей, хотя источники энергии этих процессов совершенно различны. При обработке световым лучом источником энергии является оптический квантовый генератор — лазер.

Светолучевая обработка основана на использовании мощного светового луча, который при помощи оптической системы фокусируется на обрабатываемую поверхность, где создается температура в несколько тысяч градусов.

Светолучевой метод имеет ряд преимуществ даже перед электроннолучевым:

1) обработка производится на воздухе, поэтому отпадает необходимость создавать вакуум и помещать обрабатываемую деталь в вакуумную камеру;

2) не нужна защита обслуживающего персонала от рентгеновского излучения, а необходимы лишь темные защитные очки;

3) меньшая стоимость оборудования и значительно меньшие его размеры.

3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

При использовании оборудования для электрофизических и электрохимических методов обработки необходимо соблюдать следующие специфические условия техники безопасности: обслуживающий персонал должен иметь необходимый минимум технический знаний и проходить инструктаж по технике безопасности.

При работе на установках, имеющих токи с высоким электрическим напряжением (электроэрозионные установки, генераторы к ультразвуковым станкам, источники

питания электронно- и свето-лучевых установок и т. п.), необходимо обеспечить меры против поражения током обслуживающего персонала, при этом необходимо, чтобы токоведущие элементы имели надежную изоляцию, подводящие кабели высокого напряжения — бронированную оболочку, установки — заземление и блокировку, исключая возможность включения высокого напряжения при нерабочем состоянии (например, при открытой двери генератора).

Использование на электроэрозионных станках легко воспламеняющихся жидкостей (керосина и др.) требует соблюдения противопожарных мер. Рабочие зоны электроэрозионных и электрохимических установок должны иметь хорошую вентиляцию для удаления образующихся газообразных продуктов. Необходимо, чтобы корпус электронной пушки и рабочей камеры надежно защищали обслуживающий персонал от рентгеновского излучения.

При работе на ультразвуковых установках необходимо знание и соблюдение мер безопасности — звукоизоляция оборудования, исключение во время работы непосредственного контакта рук работающего с жидкостью, ультразвуковым инструментом и обрабатываемой деталью, в которых возбуждаются колебания; обслуживание ультразвукового оборудования только в перчатках и т. п.

При работе на светолучевых установках обслуживающий персонал обеспечивают светозащитными очками.

ИХ РАЗДЕЛ

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ

Общие сведения

Пластическими массами (пластмассами) называют твердые или упругие материалы, получаемые из полимерных соединений и формируемые в изделия методами, основанными на использовании пластических деформаций. Многообразие физико-механических свойств делает пластмассы ценным конструкционным материалом. Они имеют малую плотность, хорошо противостоят коррозии, отличаются широким диапазоном коэффициентов трения и высоким сопротивлением истиранию, обладают хорошими оптическими свойствами, прозрачностью и др.

Основной составной частью пластических масс являются полимеры — синтетические органические соединения. Иногда пластмасса полностью состоит из полимера, но чаще всего она представляет собой сложную комбинацию из полимера, пластификатора-наполнителя и красителя. В некоторых случаях добавляются катализаторы и стабилизирующие компоненты. Наполнители, в качестве которых используют древесную муку, тальк, каолин, асбест, стекловолокно, хлопчатобумажные, синтетические и стеклянные ткани, древесный шпон, придают изделиям необходимую прочность, жесткость, теплоустойчивость и электроизоляционные свойства.

В данном разделе будут также рассмотрены резина, металлокерамика и керамика. Широко применяемая в машиностроении резина представляет собой сложную смесь, основным компонентом которой является каучук. Высокая эластичность резины сочетается с высоким сопротивлением разрыву и истиранию, газо- и водонепроницаемостью, химической стойкостью, высокими электроизоляционными свойствами и малой плотностью. Недостатки резины — относительно невысокая теплоустой-

кость и незначительная стойкость к действию минеральных масел (за исключением специальной маслостойкой резины).

Глава I

ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ И СТРУКТУРА ПОЛИМЕРОВ

СТРУКТУРА ВЫСОКОПОЛИМЕРОВ

Пластические массы — это материалы на основе природных или синтетических высокомолекулярных соединений, пригодные для переработки в изделия в результате пластической деформации под влиянием нагревания и давления и способные затем сохранять закрепленную в результате охлаждения или отверждения форму. Высокомолекулярные соединения являются смесью полимеров с различной молекулярной массой, относящихся к одному гомологическому ряду.

Химическое строение, молекулярная масса, структура цепи и взаимного расположения молекул определяют свойства высокомолекулярных соединений полимеров.

Макромолекулы высокомолекулярных соединений могут иметь линейную, разветвленную или пространственную структуру (рис. 300). Макромолекулы линейных полимеров представляют собой цепи, имеющие длину, в сотни и тысячи раз превышающую размеры поперечного сечения.

При разветвленной структуре полимера макромолекулы имеют боковые ответвления, длина и число которых могут быть различными.

Линейные и разветвленные полимеры построены из отдельных макромолекул, связанных между собой межмолекулярными силами, величина которых в значительной степени определяет технические свойства вещества. Такие полимеры эластичны, плавятся или размягчаются при нагреве и при охлаждении снова переходят в твердое состояние. Линейные и разветвленные полимеры являются основой термопластичных пластмасс.

Пространственные (сшитые, сетчатые) структуры получаются либо сшивкой отдельных линейных цепей по-

лимеров, либо в результате поликонденсации и полимеризации. При частом расположении поперечных связей полимер становится полностью неплавким и нерастворимым. При редких связях возможно некоторое набуха-

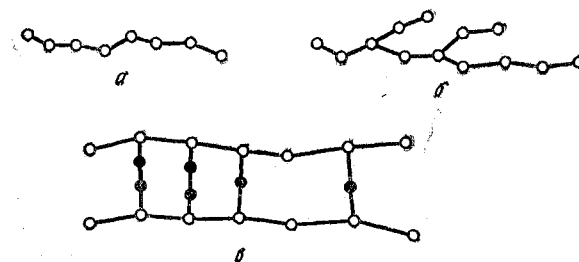


Рис. 300. Структура полимеров

a — линейная; б — разветвленная; в — пространственная

ние под воздействием растворителя и незначительное размягчение при нагреве. Полимеры, способные образовывать пространственные структуры, являются основой термореактивных пластмасс (реактопластов).

Глава II

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТМАСС В КАЧЕСТВЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В машиностроении и приборостроении пластмассы широко применяются для изготовления деталей.

Пластмассы конструкционного назначения можно условно разделить на три группы: пластмассы низкой прочности, средней прочности и высокопрочные.

К пластмассам низкой прочности относятся фенопласты, фенолиты и аминопласты. К пластмассам средней прочности относятся слоистые пластики, изготовленные из бумаги, хлопчатобумажной ткани или древесного шпона, пропитанных фенолоформальдегидной смолой

(гетинакс, текстолит), а также пластики полимеризационного типа, обладающие повышенной механической прочностью (фторопласты, полиэтилен, полистирол, полиамиды и пр.). Сравнительно высокий уровень прочности в сочетании с низким коэффициентом трения обусловили успешное применение термопластических материалов для антифрикционных деталей.

К группе высокопрочных пластических масс относятся стеклопластики, состоящие из полимера, армированного стекловолокном. Наиболее распространенными полимерами этой группы являются фенол-формальдегидные, эпоксидные и полиэфирные смолы. Большое влияние на механические свойства изделия оказывает структура стекловолокна. Наибольшую прочность обеспечивает применение стекловолокон в виде стеклоткани, наименьшую прочность имеют пластики из рубленого неориентированного стекловолокна.

По типу наполнителя и техническим свойствам материала стеклопласты тоже делят на три группы: стекло-текстолиты, анизотропные стеклопласты и стекловолокнисты. По удельной прочности стеклопласты не уступают, а иногда даже превышают удельную прочность металлов. Стеклопласты хорошо противостоят действию ударных и динамических нагрузок и обладают большой демпфирующей способностью.

Стекловолокнистые анизотропные материалы (СВАМ) получают из стеклянного волокна и клеящей среды из синтетических смол. Метод получения СВАМ состоит в ориентации стеклянных волокон путем параллельной укладки при одновременном нанесении на них связующего. Благодаря такой ориентации волокон получают стекловолокнистые материалы, обладающие подобно древесному шпону и фанере упругой анизотропией. Очевидно, что свойства анизотропных материалов зависят от направления волокон. Так, сопротивление СВАМ растяжению в продольном и поперечном направлениях одинаково и составляет 5000 кгс/см^2 , а под углом 45° оно равно 2200 кгс/см^2 .

Особенно широко применяются стекловолокнисты типа АГ-4 (В и С). Стекловолокнит АГ-4С имеет предел прочности при растяжении и при статическом изгибе до 2000 кгс/см^2 и удельную ударную вязкость до $100 \text{ кгс}\cdot\text{см/см}^2$.

Стекловолокнисты применяют для изготовления вкладышей подшипников, фрикционных деталей, сильно нагруженных корпусов приборов, а также высокопрочных и термостойких изделий, работающих при температурах до 250°C .

Пластмассы электротехнического назначения применяют в качестве электроизоляционных материалов в конструкциях машин и приборов. Это обусловливается наличием у полимерных материалов хороших диэлектрических свойств, влаго- и кислотостойкости, стойкости к нагреванию и низким температурам.

К полимерным материалам, используемым в радиотехнике, предъявляются особо высокие требования по электротехническим характеристикам. Для радиотехнических деталей применяют главным образом материалы второй группы. Очень важно также, чтобы электрические характеристики у высокочастотных полимерных материалов были стабильны и мало изменялись при изменении температуры и воздействия влаги.

2. ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТМАСС В ИЗДЕЛИЯ

В зависимости от способов переработки и температурного характера затвердевания все пластмассы делятся на две основные группы — термопластические и терморезистивные. Свойства термопластических масс обратимы.

Терморезистивные массы при нагревании необратимо превращаются в неплавкие и нерастворимые вещества. Выбор способа переработки пластмасс в изделия определяется в первую очередь технологическими свойствами перерабатываемого материала. Кроме того, на выбор способа влияет конфигурация изделия и его размеры.

Основными способами изготовления пластмассовых деталей являются литье под давлением и прессование. Изделия, полученные этими способами, имеют очень чистую поверхность, точные размеры и не требуют дальнейшей механической обработки. В последнее время для получения крупногабаритных корпусных деталей применяют способы пневматического и вакуумного формования из листовых термопластических заготовок.

Литье под давлением является наиболее эффективным и производительным способом массового производ-

ства деталей из пластмасс. Термопласты для литья под давлением выпускаются химической промышленностью в виде гранулированных порошков. Детали отливаются из полиэтилена, полистирола, капрона, полиамидов и других материалов.

8. СВАРКА И СКЛЕИВАНИЕ ПЛАСТМАСС

Неразъемные соединения из пластмасс можно получать методом сварки и склеивания. Специфические особенности технологии сварки пластмасс основаны на особенностях их механических и физико-химических свойств. В отличие от сварки металлов при сварке пластмасс не образуется ванночка с расплавленным материалом, а перегрев может привести к разложению материала. Сварке могут подвергаться только термопласты (органическое стекло, винипласт, полиэтилен, полиуретан и др.).

В промышленности сварку пластмасс производят нагретым воздухом или газом, горячим лезвием, токами высокой частоты, трением и ультразвуком. Выбор метода и технологии сварки определяется технологическими свойствами свариваемых пластмасс.

Прочность сварного соединения зависит от состояния поверхности сварного шва, прочности свариваемого материала, прочности присадочного материала и конструкции сварного соединения. Наиболее прочными являются стыковые швы. Зачистка и зашлифовка шва может снизить прочность соединения на 25—30%.

Методы сварки пластмасс отличаются один от другого способом подвода тепла к свариваемому соединению.

Сварка нагретым воздухом или газом. При этом способе (рис. 301, а) на шов свариваемых деталей 1 и присадочный пруток 2 подается сжатый нагретый воздух из сопла специального сварочного пистолета 3. Основной материал и присадочный пруток под действием тепла переходят в вязкотекучее состояние и сцепляются между собой.

Качество сварного шва будет зависеть от температуры нагретого воздуха, сечения присадочного прутка, скорости укладки присадочного прутка и угла его наклона, расстояния наконечника сварочного пистолета до шва и т. д.

Если нельзя допускать окисления свариваемого материала, то в качестве теплоносителя применяют азот или углекислый газ. Сварка нагретым газом без присадочного материала (рис. 301, б) позволяет резко повысить скорость процесса и улучшить качество соединения.

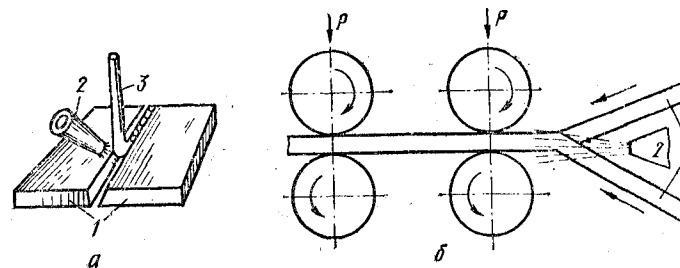


Рис. 301. Схема сварки листов из термопласта горячим газом с присадочным (а) и без присадочного (б) материала

Сварочный пистолет 2 устанавливают в створ свариваемых изделий 1 таким образом, чтобы газовая струя направлялась на срезание кромки шва.

Сварка токами высокой частоты. При этом способе сварки нагрев изделия осуществляется в высокочастотном электрическом поле, создаваемом специальными генераторами. В промышленности применяется непрерывный способ сварки (рис. 302, б). Свариваемое изделие протягивают между вращающимися роликовыми электродами. Материал разогревают до необходимой температуры и сдавливают роликами. Применяется также прессовый метод сварки (рис. 302, а). При сварке фигурных изделий конфигурация электрода должна соответствовать конфигурации детали. Сварка токами высокой частоты позволяет получать сварные швы с прочностью, равной прочности основного материала.

Этот метод сварки применяется для изделий из винипласта и полихлорвинила, т. е. для пластмасс, имеющих диэлектрическую проницаемость больше трех. Высокая производительность способа обуславливает его применение в массовом и крупносерийном производстве.

Сварка полимеров с помощью инфракрасного излучения является универсальной. Она основана на явлении превращения лучистой энергии в тепловую внутри ма-

териала. ИК-лучи могут отражаться, преломляться и поглощаться. Преобладание того или иного явления зависит от длины волны излучения. Если частота ИК-излучения совпадает с собственной частотой колебаний

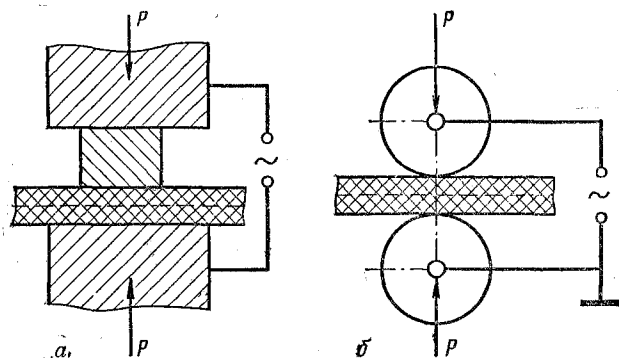


Рис. 302. Схема прессового (а) и роликового (б) методов сварки токами высокой частоты

элементарных частиц вещества, то происходит резонансное поглощение. Энергетическое распределение поглощения зависит от типа материала и состояния его поверхности.

Степень поглощения ИК-излучения определяется коэффициентом поглощения: отношением поглощенной энергии ко всему количеству энергии излучения, падающей на тело. Полимерные материалы в большинстве случаев поглощают ИК-излучение с длиной волны более 3 мкм.

В качестве источников ИК-излучения используют кварцевые излучатели, силитовые стержни и никельхромовые сплавы.

На рис. 303 показаны принципиальные схемы сварки с помощью инфракрасного излучения внахлестку и торцового соединения. Для сварки внахлестку (рис. 303, а) листы 1 укладываются на подложку 2, изготовленную из материала, поглощающего ИК-лучи. Прижимное устройство 3 фиксирует материал в натянутом состоянии и ограничивает зону нагрева. Нагрев осуществляют от источника ИК-лучей 4. Тепловое расширение и раз-

мягчение материала приводит к его растяжению в месте контакта. В результате листы давят один на другой и осуществляется их сварка. При этом способе из-за местного утонения материала и недостаточно плотного контакта снижается качество сварного шва. Для улучшения качества шва, для обеспечения плотного контакта применяют эластичную подложку (рис. 303, б) из микропористой резины или черного эластичного пено-

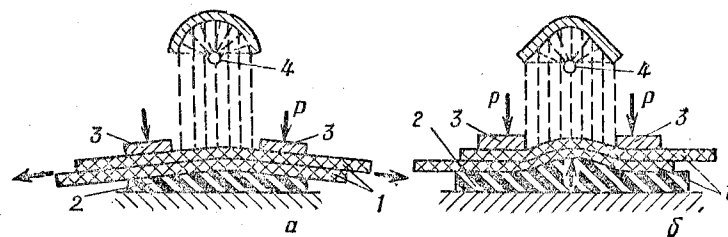


Рис. 303. Схемы сварки ИК-излучением при создании давления; а — путем натяжения материала; б — за счет упругой подложки

полиуретана. Для получения длинных швов перемещают свариваемое изделие или источник излучения.

Толщина свариваемого соединения, режим сварки зависят от условия ИК-излучения, материала заготовок. Так, при использовании в качестве источника ИК-лучей силитового стержня, нагретого до 1200° С, предельная толщина сварки полиэтилена низкой плотности при одностороннем подходе и использовании микропористой подложки составит 1,5—2,0 мм при продолжительности сварки 2—4 с.

Сварка трением. Нагрев осуществляется за счет выделения тепла при трении соприкасающихся поверхностей. Сварку трением можно проводить на токарном станке (рис. 304). Одна из свариваемых частей закрепляется в патроне станка, а вторая удерживается специальным приспособлением на вращающемся центре задней бабки. В результате трения соприкасающиеся поверхности разогреваются, размягчаются и при приложении осевой силы свариваются, образуя неразъемное соединение. Сварка трением применяется для сваривания изделий из твердых термопластов, для деталей, имеющих форму тел вращения.

Сварка ультразвуком. Машины для ультразвуковой сварки пластмасс аналогичны машинам для сварки металлов. Схема сварки отличается тем, что ультразвуковые колебания передаются в направлении приложенного давления, перпендикулярно свариваемым поверхностям (рис. 305, а). В результате механического воздей-

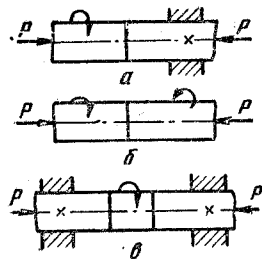


Рис. 304. Принципиальные схемы сварки трением с использованием вращения одной детали (а), двух деталей (б) и вставки (в)

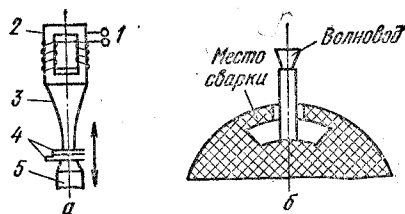


Рис. 305. Схема ультразвуковой сварки: 1 — обмотка; 2 — магнитно-стрикционный преобразователь; 3 — волновод; 4 — свариваемое изделие; 5 — опора

вия высокочастотных колебаний получают хороший контакт соприкасающихся поверхностей.

Сварка ультразвуком имеет ряд преимуществ перед другими методами сварки пластмасс: 1) разогрев материала происходит только на контактирующих поверхностях, что обеспечивает высокую производительность и исключает возможность перегрева; 2) в связи с тем, что ультразвуковые колебания можно возбуждать на значительном расстоянии от места сваривания, сварку можно производить в труднодоступных местах (рис. 305, б) и, кроме того, можно сваривать пластмассы большой толщины; 3) при правильных режимах сварки на поверхности не остается следов инструмента, оргстекло не теряет прозрачность.

Но при сварке мягких и пленочных пластмасс в месте соединения образуются большие деформации. Поэтому ультразвуковую сварку следует применять при изготовлении деталей и узлов из пластмасс средней и большой толщины. При сварке ультразвуком применяются соединения тавровые, стыковые и внахлестку.

Склеивание. В промышленности широко применяют клеевые соединения пластмассовых деталей благодаря

их высокой технологичности, прочности и экономичности. Склеиванием можно получать соединения пластмасс между собой (однородных и неоднородных по химической природе), соединения пластмасс с металлами, резиной, кожей, деревом и т. д.

Термореактивные пластмассы склеивают смоляными клеями типа ВИАМ Б-3 или КМ на основе соответственно фенолформальдегидной и мочевиноформальдегидной смол. После нанесения клея на склеиваемые поверхности и их сжатия смола должна перейти в термостабильное состояние. При комнатной температуре эта реакция длится несколько месяцев. Поэтому в клей добавляют специальные отвердители и выдержку производят при повышенных температурах.

Склеивание изделий из термопластичных пластмасс осуществляют специальными клеями или растворителями в зависимости от материала. Так, оргстекло склеивают дихлорэтаном, полистирол-бензолом, целлулоид и нитроцеллюлозный этрол-ацетоном, винипласт-хлористым метиленом, ацетоном или дихлорэтаном и т. д. Растворитель вызывает местное набухание материала, придавая ему клейкость. Молекулы клея на обеих сложенных вместе поверхностях диффундируют в микродефекты поверхности, внедряются одна в другую и связываются благодаря механическому переплетению и действию межмолекулярных сил.

При склеивании растворителем возникают значительные внутренние напряжения в слоях материала, непосредственно соприкасающихся с клеевым швом. Они являются результатом местного набухания из-за диффузии растворителя. Прочность и надежность клеевых соединений зависит от правильного выбора клеевой композиции и соблюдения технологических режимов склеивания. Процесс склеивания состоит из ряда последовательных операций: подготовка поверхностей соединяемых деталей, нанесение клея, сборка соединения и запрессовка, выдержка под давлением при заданной температуре. Склеиваемые поверхности пригоняют одну к другой, очищают и обезжиривают, подвергают специальной обработке для повышения адгезии клея.

Клеи с малой концентрацией клеящего вещества (клей БФ) наносят на поверхность в несколько слоев, а пленочные клеи (ВК-32-200, МПФ 1 и др.) наносят на

подслой из жидкотекучих композиций. При запрессовке необходимо обеспечить равномерную по всей площади заданную толщину клеевого шва, без пустот, пузырей и неплотностей. Давление запрессовки зависит от технологической вязкости клея и толщины материала. Для малотекучих клеев (БФ-2, БФ-4, ВК-32—200) давление запрессовки равно 5—20 кгс/см², а для высокотекучих клеев (ВК-32—ЭМ, ВЛ-4) 0,5—3 кгс/см².

4. ОБРАБОТКА ПЛАСТМАСС РЕЗАНИЕМ

Обработка пластмасс резанием применяется для проведения отделочных и доводочных операций после предварительного формования и как самостоятельный метод изготовления машиностроительных и приборостроительных деталей. Однако в тех случаях, когда это возможно, следует избегать или уменьшать механическую обработку, так как нарушается поверхностная смоляная пленка. Это приводит к уменьшению предела прочности, увеличению способности водо- и маслопоглощения.

При прессовании, литье и других методах формования наблюдаются значительные колебания усадки материала, что снижает получаемую точность размеров. Поэтому для получения высокого класса точности необходимо в ряде случаев применять механическую обработку. Кроме того, методами резания удаляют литниковую систему, зачищают заусенцы, получают отверстия малых диаметров, мелкие резьбы и т. д.

В единичном и мелкосерийном производстве экономически нецелесообразно применять методы прессования, литья и др. из-за высокой стоимости и сложности изготовления прессформ. В этом случае заготовкой для механической обработки является листовая или прутковый материал.

Особенности физико-механических свойств пластмасс и специфика их строения существенно влияют на технологию обработки, конструкцию режущего инструмента и приспособлений.

Пластмассы с их низким сопротивлением срезу можно было бы обрабатывать на высокопроизводительных режимах резания. Но низкая теплопроводность приводит к концентрации тепла, образующегося при резании. В результате происходит интенсивный нагрев инструмента,

размягчение и оплавление деталей из термопластов, обугливание и прижоги реактопластов.

Процесс стружкообразования при обработке зависит от природы и физико-механических свойств пластмасс, геометрии инструмента и режимов резания.

Смолы, входящие в состав пластмасс, при нагреве размягчаются и обволакивают рабочую поверхность инструмента, что затрудняет отвод стружки и ухудшает качество получаемой поверхности. При обработке пластмасс, имеющих в составе наполнителя кварц и стекловолокно, в стружке образуются высокоабразивные частицы вследствие измельчения материала в процессе резания. Это явление приводит к быстрому износу режущего инструмента. При обработке стеклопластиков образуется тонкая пыль, загрязняющая и изнашивающая станки и засоряющая атмосферу цеха. При обработке с малыми скоростями и большими глубинами резания пластмассы ведут себя как хрупкое тело: появляются трещины, сколы.

Большое разнообразие полимерных материалов обуславливает значительное колебание оптимальных режимов резания и геометрии инструмента. Но из рассмотренных особенностей физико-механических процессов при резании пластмасс можно сделать выводы и дать общие рекомендации по геометрии режущего инструмента.

Наибольшую производительность и наибольшую стойкость дает твердосплавный инструмент, несколько меньшую — инструмент из быстрорежущей стали и очень низкую — инструмент из углеродистых сталей.

Задний угол α выбирается равным 12—20°, т. е. несколько большим, чем при обработке металлов. Это улучшает условия резания и повышает стойкость инструмента. Передний угол γ вследствие низкого сопротивления срезу выбирается значительно большим (15—20°), чем при резании металлов. Канавки для отвода стружки делаются более емкими и полируются во избежание прилипания стружки.

При обработке отверстий и получения резьб следует применять инструмент несколько большего диаметра (0,04—0,1 мм) для компенсации усадки как результата повышенного упругого последействия и местного разогрева. Обработку пластмасс можно проводить на обычном металлорежущем и деревообрабатывающем оборудовании.

Точение. Этим методом хорошо обрабатываются винилы, органическое стекло, полиэтилен, фторопласты, литые реактопласты и слоистые пластики. Для точения используют универсальные быстроходные металлорежущие станки, токарные и револьверные. Режущий инструмент изготавливают из твердых сплавов (ВК6, ВК8), быстрорежущей стали (P9, P18) и реза из углеродистых сталей (У10А, У12А). Геометрия заточки резцов: для обработки термопластов $\gamma=15\div 20^\circ$, α — до 20° , $\varphi=45^\circ$, $\lambda=0^\circ$; для обработки терморепактивных пластмасс $\gamma=10\div 20^\circ$, $\alpha=10\div 20^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $\lambda=0^\circ$.

Глубину резания и подачу выбирают в зависимости от припусков на обработку и требуемой чистоты поверхности. Точение ведут на больших скоростях с небольшой подачей. Припуск снимается за один — два прохода. На второй проход рекомендуется оставлять припуск не более 0,5—1,0 мм. На скорость резания влияет материал инструмента. Твердосплавный инструмент допускает скорости резания в 2—3 раза выше, чем инструмент из быстрорежущей стали.

Возможное образование сколов предупреждается фаской со стороны входа инструмента или обработкой деталей, собранных в пакет. При обработке термопластов охлаждение приводит эмульсией или водой, а при обработке терморепактивных пластмасс — сжатым воздухом.

Фрезерование. Фрезерование применяют для изготовления деталей из блочных термопластов и слоистых пластмасс, для удаления литников, получения сложных контуров детали после прессования или литья, получения пазов различной конфигурации, зубонарезания и т. д.

Для фрезерования используют быстроходные металлорежущие и деревообрабатывающие станки, а при массовом производстве экономически целесообразно применять специальные фрезерные станки.

При фрезеровании на обрабатываемой поверхности могут появляться задиры, трещины и прижоги, возможно отслаивание материала, скалывание кромок и обламывание краев листа. Учитывая это, во избежание появления брака необходимо соблюдать ряд правил:

1. Для предотвращения выкрошивания и обламывания тонкой кромки изделия толщина ее должна быть не менее 0,1 мм.

2. При фрезеровании слоистых пластмасс следует применять полутное фрезерование.

3. Фрезеруемую деталь необходимо плотно прижимать к опорной базе и жестко закреплять на станке и в приспособлении.

4. Обрабатываемый участок должен иметь плотный контакт по всей поверхности с опорной поверхностью приспособления.

Фрезерование пластмасс лучше всего производить со спиральным зубом (рис. 306). Угол наклона зуба со-

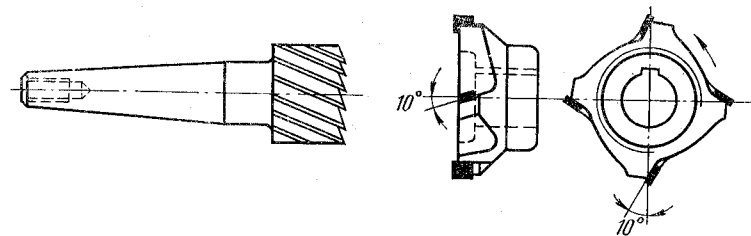


Рис. 306. Конструкция обычной и твердосплавной фрезы

ставляет $20\text{—}55^\circ$ к оси фрезы. Конструкцию фрезы и геометрию заточки режущих лезвий выбирают в зависимости от обрабатываемого материала, конструкции детали и режима резания. Для фрезерования термопластов фрезы изготавливают из углеродистой стали, а для терморепактивных пластмасс — из быстрорежущей стали или с пластинками твердого сплава. Углы заточки $\gamma=10\div 25^\circ$, $\alpha=15\div 30^\circ$. При фрезеровании пазов необходимо затачивать режущие лезвия и торец для предотвращения подгорания или оплавления обрабатываемых слоев материала детали.

Фрезерование производят в два прохода с глубиной резания менее 3 мм, оставляя на чистовой проход 0,5 мм. При фрезеровании пластмасс для охлаждения инструмента применяют сжатый воздух, а для некоторых видов термопластов эмульсии.

Сверление. При сверлении отверстий в пластмассовых деталях большое значение имеет правильный выбор конструкции и геометрии сверл, режимов резания, способов охлаждения инструмента и зоны обработки. Для сверления пластмасс применяют спиральные, специальные и перовые сверла.

При получении отверстий в термопластах стандартными сверлами (рис. 307, а) возможно затягивание сверла в пластмассу и заедание его. Во избежание этого необходимо применять следующую геометрию сверл: угол при вершине 2ϕ около 70° , задний угол $\alpha = 4 \div 8^\circ$, а угол наклона канавки $\omega = 15 \div 17^\circ$. Кроме того, такой

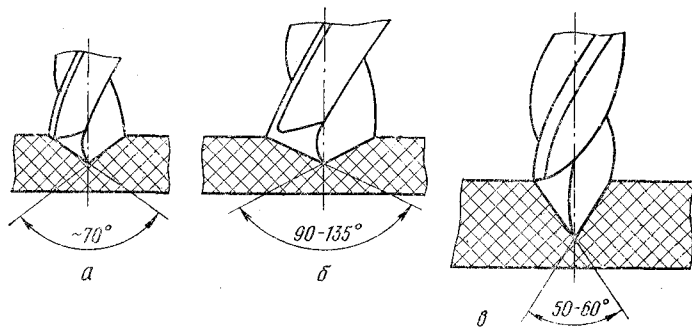


Рис. 307. Конструкция сверл для обработки пластмасс

угол наклона канавки снижает нагрев детали и обеспечивает хороший отвод стружки.

При получении отверстий в термореактивных пластмассах и листовых слоистых пластиках желательно применять сверла из быстрорежущей стали (рис. 307, в). Геометрия сверл в этом случае должна быть $2\phi = 50 \div 60^\circ$, $\alpha = 14 \div 16^\circ$, $\omega = 10^\circ$. Стружечная канавка должна быть широкой и глубокой. Наилучшее качество обработки получается при применении перовых сверл и спиральных сверл с широкой, хорошо полированной канавкой.

При сверлении глубоких отверстий (рис. 307, б) во избежание прожога следует периодически вынимать инструмент, охлаждать его и очищать от стружки. Охлаждение производят сжатым воздухом, а для стеклотекстолитов и фенопластов возможно применение 5%-ного раствора эмульсола в воде.

Отверстия с диаметром свыше 6—9 мм получают за два прохода: предварительное сверление производят на диаметр не менее 0,5 от окончательного размера.

Нарезание резьбы. Наружные и внутренние резьбы нарезают в пластмассовых заготовках (стержневых, ли-

стовых, блочных) и в готовых деталях, полученных формованием. Наружные резьбы нарезаются резцами, плашками, фрезами, внутренние — азотированными или хромированными метчиками.

Резьбы большого и среднего диаметра нарезают на токарно-винторезных станках со смазывающе-охлаждающей жидкостью из смеси парафинового масла (60%) и керосина (40%). Режимы резания аналогичны режимам для латуни или стали, но глубина резания должна быть меньше на 0,1—0,2 мм. С увеличением глубины резания возможно выкрошивание или появление трещин на деталях малой толщины.

Для нарезания внутренней резьбы применяют стандартные метчики из быстрорежущей стали с отрицательным передним углом $\gamma = -(5-10^\circ)$. Такой угол уменьшает заедание метчика при вывертывании. Рекомендуется применять комплект из 2—3 метчиков и метчики с резьбой через шаг. Чтобы получить чистую и гладкую поверхность, нужно чаще очищать метчик (плашку) от стружки и смазывать маслом или пчелиным воском.

При нарезании резьбы в деталях из наполненных термопластов, термореактивных и слоистых пластмасс наблюдается усадка на 0,05—0,15 мм. В соответствии с этим диаметр метчика должен быть больше номинального диаметра резьбы на величину усадки. В слоистых пластиках резьба должна нарезаться перпендикулярно слоям, иначе возможно расслаивание.

Шлифование. Шлифование изделий из термореактивных пластмасс производят абразивными кругами с мягкой связкой, зернистостью 30—40. Для удаления грата и заусенцев, для получения более чистой поверхности после шлифования абразивными кругами применяют обработку наждачными полотнами или бумагой.

Шлифование изделий из термопластичных пластмасс производят фланелевыми или суконными кругами с пастой из отмученной пемзы с водой. Органическое стекло шлифуют специальными пастами или наждачной бумагой с зернистостью абразива 150—250.

Чистота обработанной поверхности зависит от толщины снимаемой стружки, материала инструмента, режима обработки и т. д. Глубина резания (поперечная подача) выбирается для черного шлифования в пре-

делах $t=0,07\div 0,2$ мм, а для чистового шлифования $t=0,01\div 0,05$ мм. Зернистость абразива для черновой и чистовой обработки должна равняться соответственно 16—40 и 80—140. Шлифование производят с высокими скоростями 20—40 м/с, так как при меньших скоростях шкурки быстро замасливаются. Во избежание прижогов материала продолжительность контакта детали с кругом должна быть минимальной, не более 1,0—1,5 с.

Полирование. Пластмассовые детали подвергают полированию для удаления следов зачистки или механической обработки (рисок, царапин), выведения матовых пятен, придания поверхности гладкого блестящего вида. При полировании снимается очень тонкий слой пластмассы. В промышленности самое большое распространение получило полирование в галтовочных барабанах и на полировальных станках кругами.

Полирование в галтовочных барабанах применяют для мелких деталей. В галтовочный барабан загружают хорошо очищенные от загрязнений пластмассовые детали и полировальный состав. При сухом способе полировальным составом является пемза тонкого помола или опилки с мелом, пропитанные машинным и вазелиновым маслами. Полирование идет в течение 2—3 ч при скорости вращения барабана 20—80 об/мин. Детали отделяют от полировального состава на ситах, промывают и сушат. При мокром способе полировальный состав состоит из пемзы тонкого помола с водой (100 г пемзы на 10 л воды). Процесс идет более интенсивно, продолжается 1—2 ч, при этом снимается больший припуск.

На полировальных станках полирование производят хлопчатобумажными, байковыми и суконными кругами, а окончательное полирование — кругами из бязи, байки или муслина. На предварительных операциях применяют пасту ГОИ для терморезистивных пластмасс, и ВИАМ-2 для термопластичных пластмасс. Матерчатые круги имеют диаметр 200—400 мм и толщину 60—100 мм. При полировании реактопластов скорость вращения полировального круга составляет 1500—2000 об/мин, а для термопластов из-за сильного нагрева деталей несколько ниже (1000—1500 об/мин).

При полировании на станках во избежание перегрева, прижога и изменения цвета поверхности детали нельзя допускать сильного прижима детали к кругу.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПЛАСТМАССОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

При конструировании деталей из пластмасс необходимо учитывать особенности технологии производства и механические свойства материала. Проектируя детали,

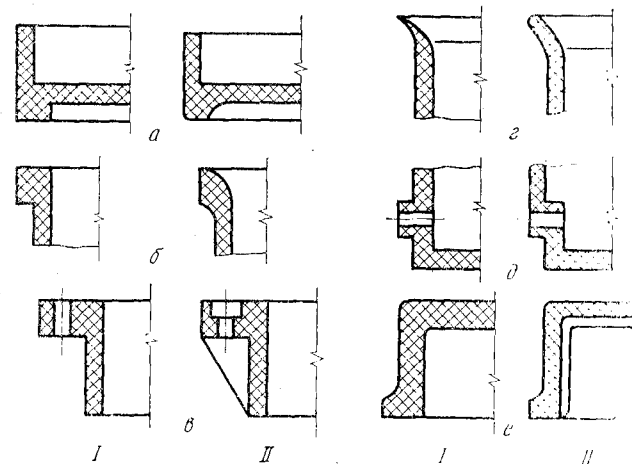


Рис. 308. Технологичность деталей, изготавливаемых прессованием:
I — нежелательно; II — желательно

изготавливаемые методом прессования, следует руководствоваться следующим:

1. Толщины стенок и сечений: оптимальная 2—5, минимальная 0,5—1, максимальная 15—20 мм. При этом разностенность не должна превышать отношения 1:3, а при литьевом способе 1:6.

2. В местах сопряжения поверхностей не следует делать острых углов, так как это может привести к образованию трещин (рис. 308, а, б).

3. Чрезмерное утолщение фланцев и лап приводит к большой разностенности деталей и увеличивает время выдержки (рис. 308, в). При этом желательно облетчение за счет конструктивного изменения формы, введения выемок и углублений. Упрочнение ослабленного сечения достигается ребрами жесткости.

4. Не следует допускать острых краев детали из-за недостаточной прочности (рис. 308, *г*).

5. При изготовлении корпусных деталей с боковыми выступами следует конструировать их таким образом, чтобы обеспечить свободный выем и не прибегать к разборным прессформам (рис. 308, *д*).

6. Слишком толстые стенки в корпусных деталях нежелательны. Лучше уменьшить толщину стенки и ввести ребра жесткости (рис. 308, *е*).

7. Резьбовые отверстия можно получать глубиной не более трех диаметров. Резьбы можно получать любого профиля с шагом не менее 0,7 мм.

8. Металлическую арматуру следует располагать по центру детали или равномерно, так как в результате неравномерной усадки неизбежны деформации и коробления. Не следует располагать арматуру перпендикулярно направлению прессования во избежание деформирования арматуры и из-за усложнения технологической оснастки. При компрессионном прессовании над арматурой должна быть прослойка материала достаточной толщины. В противном случае образуется «подушка» — сильное уплотнение пластмассы над арматурой (рис. 309). Боковая арматура значительной длины долж-

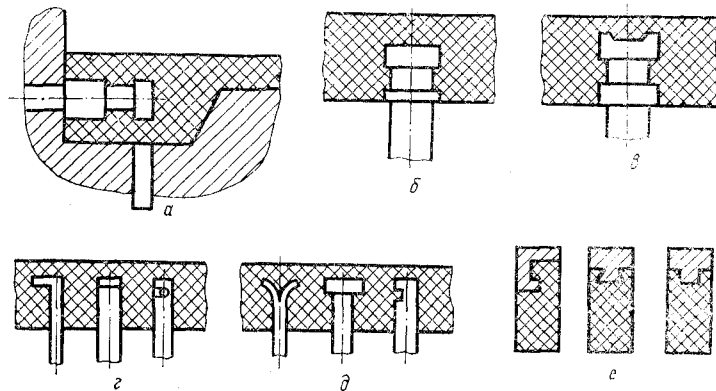


Рис. 309. Примеры постановки металлической арматуры:

а — консольная боковая арматура; *б*, *в* — предотвращение образования подушки; *г* — клеммная арматура; *д* — стержневая арматура; *е* — кольцевая наружная арматура

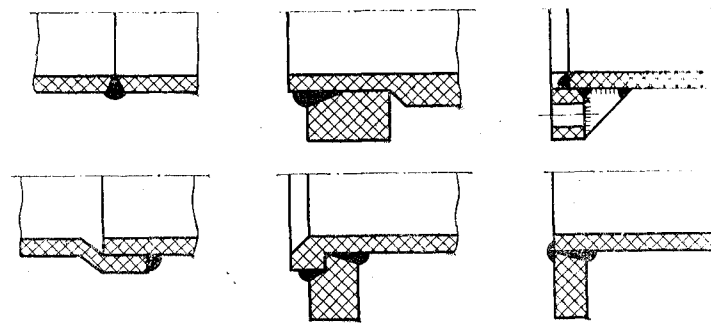


Рис. 310. Типовые конструкции сварных фланцев и труб

на иметь при прессовании опору для устранения возможного прогиба.

9. При прессовании и литьевых методах на наружных и внутренних стенках следует задавать уклоны для облегчения выема деталей.

При конструировании сварных фланцев соединений следует руководствоваться следующим (рис. 310):

а) толщина фланца, выбранная расчетным путем, должна обеспечить сплошной сварной шов по всей толщине фланца;

б) под сварку не рекомендуется односторонняя разделка фланцев во избежание коробления из-за усадочных напряжений в сварном шве;

в) если по условиям жесткости или прочности толщина фланца должна быть больше 30 мм, то желательно применять ребра жесткости или металлическое армирование.

Глава III

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕЗИНОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В современном машиностроении применяют большое количество резиновых изделий, причем в основном для:

1) оснащения движущихся устройств (приводные ремни, транспортные ленты и т. д.);

2) подачи воды, жидкого топлива, кислот, масла, пара и воздуха (рукава напорные и всасывающие);

3) амортизации (резиновые подвески, опоры, подшипники, амортизаторы и буферы);

4) уплотнения неподвижных и подвижных контактов (сальники, манжеты, клапаны, мембраны, прокладочные кольца, шнуры, пластины);

5) электроизоляция (детали слаботочной и высоко-частотной аппаратуры, изоляционные трубки, изоленга, поделочный эбонит);

6) защиты химической аппаратуры, изготовления воздухо- и водоплавающих средств, строительных конструкций и т. д.

При изготовлении резиновых технических изделий используют резины, текстиль и металлическую арматуру.

1. СОСТАВ И СВОЙСТВА РЕЗИНЫ

Резина является сложной смесью различных компонентов (ингредиентов). Свойства резиновых изделий определяются различным соотношением этих компонентов. К ингредиентам резиновых смесей относятся каучук, вулканизирующие вещества, ускорители вулканизации, активаторы ускорителя, наполнители, противостарители, смягчители и красители.

Основой резиновых смесей является натуральный или искусственный каучук. Каучук подвергается вулканизации — горячей или холодной обработке для придания материалу требуемой прочности, упругости и т. д. Вулканизирующим веществом обычно служит сера, вводимая в количестве 2—3% от массы каучука. Вулканизация — длительный процесс и для его ускорения вводят 0,5—1,5% ускорителей вулканизации (окись магния, окись цинка и т. д.). Активаторами ускорителя являются цинковые белила и магnezия.

Для уменьшения расхода каучука и придания необходимых физико-механических свойств резиновым изделиям вводят наполнители. Наполнители делятся на порошкообразные и тканевые. К порошкообразным наполнителям относятся сажа, каолин ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$), углекислый марганец, мел, тальк, сернокислый барий и др. Тканевыми наполнителями служат корд, бельтинг и разнообразные рукавные ткани.

При окислении каучука резины стареют, т. е. необратимо изменяются физико-механические свойства, теряется эластичность, появляется хрупкость. Поэтому в состав резиновых смесей вводят противостарители: вазелин, воск, парафин, ароматические амины и др. Мягчители вводят для облегчения совмещения каучука с порошкообразным наполнителем и для придания необходимой мягкости. Мягчителями являются стеариновые и олеиновые кислоты, канифоль, парафин, сосновая смола. Красители (охра, ультрамарин и др.) вводят в количестве до 10% от массы каучука.

Резина как конструкционный материал имеет ряд специфических свойств, существенно отличающихся от свойств металлов и других материалов. Резина способна переносить значительные деформации без разрушения, обладает амортизирующей способностью и имеет высокую сопротивляемость многократному изгибу. Хорошее сопротивление истиранию, уплотняющая способность и газодонепроницаемость резины делают ее незаменимым материалом для производства ряда деталей. Известны высокие электроизолирующие свойства и хорошая стойкость резины к действию жидкого топлива и масел. При конструировании изделий из резины следует учитывать большое влияние длительности действия приложенных нагрузок и температурного фактора на зависимость напряжения — деформация.

По твердости резину разделяют на мягкую, средней твердости и повышенной твердости.

2. МАТЕРИАЛЫ И ПОЛУФАБРИКАТЫ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Древесину, используемую в качестве исходного материала в производстве, подразделяют на круглую и пиломатериалы. Круглые лесоматериалы представляют собой очищенные от сучьев, а часто и от коры, отрезки древесных стволов. Их размеры записываются двумя цифрами со знаком умножения между ними (1 · 20). Первая цифра обозначает длину в метрах, вторая — толщину (диаметр) в сантиметрах верхнего торца без коры.

Пиломатериалы получают распиловкой крупных лесоматериалов на пластины, доски, бруски, брусья

двухкатные, брусья четырехкатные и горбыли. Пластины получают при продольной распиловке бревна на две половины, а четвертины — на четыре части. Доски получают продольной распиловкой бревен по нескольким параллельным между собой плоскостям. Бруски получают продольной распиловкой досок. Ширина бруска не превышает его двойной толщины, которая в свою очередь должна быть не более 100 мм. Брусья имеют толщину и ширину от 100 до 250 мм. Горбыль — срезанная при распиловке боковая часть бревна.

Одним из распространенных полуфабрикатов является шпон, который в зависимости от способа производства подразделяется на строганый, лущеный и пиленый. Строганый шпон получают продольным строганием тонких полос на фанерострогальных станках из предварительно распаренных кражей. Строганый шпон из лиственных пород древесины применяют для облицовки мебели, как отделочный материал в строительстве, а из сосны — в авиационной промышленности.

Лущеный шпон получают путем разлущивания чураков длиной до 1,5 м на однослойные листы толщиной 0,55—1,5 мм. Чурак предварительно проваривают. Лущеный шпон применяют для изготовления фанеры, в качестве облицовочного материала, для изготовления короткоклееных заготовок. Получают его из березы, ольхи, бука, дуба, ясеня, липы, сосны, лиственницы и кедра.

Пиленый шпон толщиной 0,8—2 мм получают продольной распиловкой кражей из березы, ольхи, клена. Его применяют для отделки поверхностей, подвергаемых зеркальной полировке.

Фанеру получают склеиванием трех и более листов лущеного шпона из разных пород древесины с взаимно перпендикулярным расположением волокон в смежных листах. Фанеру выпускают трех марок: ФСФ (фенолформальдегидный клей), ФК (карбамидный клей), ФБК (альбумин-казеиновый клей). По числу слоев шпона различают трех-пяти- и многослойную фанеру. Наружные слои фанеры называют рубашками, внутренние — серединками. Порода древесины, из которой изготовлена рубашка, определяет название фанеры.

Фанера, имеющая одну или обе рубашки из строганого шпона ценных пород древесины (дуб, орех, груша

и др.), называется облицованной. Лакированную фанеру получают из березовой путем шлифования, окраски и покрытия нитролаком при нагреве до 80° С под давлением 25—30 кгс/см². Лакированная фанера водостойкая, отличается твердостью и негорючестью.

Нанесением смоляной пленки, часто в сочетании с текстурной бумагой, получают декоративную фанеру

Свойства фанеры обусловили ее широкое использование в мебельном производстве, в машиностроении, строительстве и других отраслях. Потребности производства обусловили выпуск ребристой фанеры с вклеенными под рубашкой брусками жесткости; теплофанеры с теплоизоляционным наполнителем между двумя листами шпона; кровельной, оклееной, стальной, огнестойкой; пропитанной огнезащитными средствами или оклееной асбестом; фанеры кислотик, покрытый асбестом; армированный металлическими листами и др.

В строительстве и мебельном производстве широко применяют щиты и плиты. Столярные плиты изготавливают склеиванием из узких реек щита, который затем оклеивают с обеих сторон в один или два слоя шпоном. Фанерные щиты отличаются от обычной фанеры большей толщиной (до 45 мм).

Древесноволокнистые плиты изготавливают из измельченной до волокон древесины, пропитанной парафиновой эмульсией (для уменьшения гигроскопичности), антисептиками и огнезащитными составами, формованием и прессованием под давлением 10—50 кгс/см² при 150—165° С. Для получения сверхтвердых плит в прессуемую массу вводят синтетические смолы.

Древесностружечные плиты изготавливают из отходов обработки древесины введением синтетических смол (6—12% по массе) и прессованием под давлением 5—20 кгс/см² при 135—140° С.

Специальные свойства и сложную форму древесине придают прессованием и гибкой в металлических формах при 100—120° С. Перед обработкой заготовки распаривают водяным паром. Прессованная древесина используется для изготовления деталей машин (шестерен, подшипников). Исключительно высокие механические и своеобразные физические свойства приобретает прессованная древесина, предварительно пропитанная синтетическими смолами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гуляев А. П. *Металловедение*. М., «Металлургия», 1966. 344 с. с ил.
- Жадан В. Т., Гринберг Б. Г., Никонов В. Я. *Технология металлов и других конструкционных материалов*. М., «Высшая школа», 1970. 694 с. с ил.
- Казачков Н. Ф. *Диффузионная сварка в вакууме*. М., «Машиностроение», 1968. 332 с. с ил.
- Кручин А. В. *Прокатка металлов в вакууме*. М., «Металлургия», 1974. 248 с. с ил.
- Лахтин Ю. М. *Металловедение и термическая обработка*. М., «Металлургия», 1964. 471 с. с ил.
- Литейное производство. Под ред. И. Б. Куманина М., «Машиностроение», 1971. 316 с. с ил.
- Металлорежущие станки, М., «Машиностроение», 1972. 458 с. с ил. Авт.: В. К. Телинкин, Г. В. Красниченко, А. А. Тихонов, Н. С. Колев.
- Общая металлургия, М., «Металлургия», 1973. 424 с. с ил. Авт.: В. Г. Воскобойников, Ф. П. Еднерхо, В. А. Кудрин, А. М. Якушев.
- Охрименко Я. М. *Технология кузнечно-штамповочного производства*. М., «Машиностроение», 1966. 599 с. с ил.
- Специальные виды литья. Под ред. Г. Ф. Баландина и Л. С. Константинова. М., «Машиностроение», 1970. 222 с. с ил.
- Спирidonov А. А. *Металлорежущие станки с программным управлением*. М., «Машиностроение», 1972. 348 с. с ил.
- Технология металлов, М., «Металлургия», 1974, 528 с. с ил. Авт.: Б. В. Кнорозев, Л. Ф. Усова, А. В. Третьяков и др.
- Технология металлов и других конструкционных материалов. М., «Высшая школа», 1969, 694 с. с ил. Авт.: Н. П. Дубинин, Н. Н. Анфиренко, А. А. Хренов и др.
- Технология металлов и других конструкционных материалов. Минск. «Высшая школа», 1973, 528 с. с ил. Авт.: М. А. Барановский, Е. И. Вербицкий, А. М. Дмитриевич и др.
- Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. Б. Е. Патона, М., «Машиностроение», 1974. 768 с. с ил.
- Хренов К. К. *Сварка, резка и пайка металлов*. М., «Машиностроение», 1973, 408 с. с ил.

ЗАМЕЧЕННАЯ ОПЕЧАТКА

На стр. 579 подписи к рис. 260 и 261 поменять местами.