

А. А. Афанасьев
А. А. Погонин

Технология конструкционных материалов



**ТОНКИЕ
НАУКОЕМКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

А. А. АФАНАСЬЕВ, А. А. ПОГОНИН

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию
в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ)
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям:

«Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств», «Машиностроение»

Старый Оскол
«ТНТ»
2014

**УДК 621
ББК 34.5
А 941**

Рецензенты:

заведующий кафедрой общетехнических дисциплин
Белгородской государственной сельскохозяйственной академии
профессор, доктор технических наук *А. Г. Пастухов*
директор Белгородского механико-технологического колледжа *П. И. Кузько*

Афанасьев А. А., Погонин А. А.

А 941 Технология конструкционных материалов:
учебник / А. А. Афанасьев, А. А. Погонин. — Старый
Оскол: ТНТ, 2014. — 656 с.

ISBN 978-5-94178-391-5

В учебнике изложены системы базовых знаний, обязатель-
ные при изучении дисциплин «Технология конструкционных
материалов», «Технологические процессы в машиностроении».
Содержание учебника соответствует современному уровню раз-
вития науки и области высокоэффективных технологических
процессов и используемого технологического оборудования
предприятий.

Учебник предназначен для студентов вузов, обучающих-
ся по направлениям: «Конструкторско-технологическое обеспе-
чение машиностроительных производств», «Машиностроение»,
а также окажется полезным для инженерно-технических работ-
ников машиностроительных предприятий и специалистов, свя-
занных в работе с техникой, желающих повысить свою квалифи-
кацию.

**УДК 621
ББК 34.5**

ISBN 978-5-94178-391-5

© Афанасьев А. А., Погонин А. А., 2014
© Оформление. ООО «ТНТ», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
-----------------------	-----------

РАЗДЕЛ 1. СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ	12
--	-----------

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	12
---	-----------

1.1. Литейные сплавы и их свойства	12
1.1.1. Характеристика литейных сплавов	12
1.1.2. Свойства литейных сплавов	20
1.2. Плавильные агрегаты и плавка литейных сплавов	26
1.3. Формовочные и стержневые смеси и их приготовление ...	35
1.4. Способы изготовления литейных форм	44
1.4.1. Классификация способов изготовления литейных форм	44
1.4.2. Литейная технологическая оснастка	45
1.4.3. Литниковые системы	47
1.4.4. Прибыли	49
1.4.5. Ручная формовка	50
1.4.6. Машинная формовка	53
1.4.7. Получение отливок в вакуумно-плёночных формах	56
1.5. Групповая технология формовки и использование для получения отливок гибких технологических модулей. Механизация и автоматизация процессов получения отливок	59
1.6. Выбивка, очистка, обрубка и зачистка отливок	66
1.6.1. Выбивка отливок из форм и стержней из отливок ...	66
1.6.2. Очистка и обрубка отливок	67
1.6.3. Зачистка отливок	72
1.7. Изготовление отливок специальными способами	73
1.7.1. Литьё в оболочковые формы	73
1.7.2. Литьё по выплавляемым моделям	76
1.7.3. Литьё в кокиль	80
1.7.4. Литьё под давлением	84
1.7.5. Центробежное литьё	87

1.7.6. Литье выжиманием и другие способы точного литья	90
1.8. Обеспечение качества отливок	98
1.9. Контрольные вопросы	105

ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

ДАВЛЕНИЕМ	107
2.1. Физико-механические основы обработки металлов давлением	107
2.1.1. Общие сведения	107
2.1.2. Основные способы обработки металлов давлением и область их применения	110
2.1.3. Теоретические основы обработки металлов давлением	112
2.2. Термический режим обработки заготовок	122
2.3. Нагревательные устройства	127
2.4. Прокатное производство, сортамент проката и его использование для заготовок деталей машин	137
2.4.1. Общие сведения	137
2.4.2. Сортамент и применение проката	140
2.4.3. Прокатные станы, их устройство и работа	143
2.5. Основы производства заготовок свободной ковкой	159
2.5.1. Общие сведения	159
2.5.2. Основные операции технологического процесса ковки, приёмы их выполнения, ковочный инструмент	161
2.5.3. Оборудование для ковки	170
2.5.4. Примеры изготовления поковок способом свободной ковки	177
2.6. Производство заготовок штамповкой на молотах и прессах	179
2.6.1. Общие сведения	179
2.6.2. Технология штамповки на молотах	185
2.6.3. Технология штамповки на прессах	188
2.7. Производство заготовок штамповкой на горизонтально-ковочных и специальных машинах	191
2.7.1. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах	191
2.7.2. Штамповка на специальных машинах	196
2.8. Холодная объёмная штамповка	201

2.9. Холодная листовая штамповка	205
2.9.1. Общие сведения	205
2.9.2. Технологические операции листовой штамповки	206
2.9.3. Инструмент для листовой штамповки	211
2.9.4. Оборудование для листовой штамповки	214
2.9.5. Технологический процесс листовой штамповки	218
2.10. Методы производства машиностроительных профилей	224
2.10.1. Прессование	224
2.10.2. Волочение	229
2.11. Новые направления обработки металлов давлением	234
2.12. Обеспечение качества поковок	238
2.13. Контрольные вопросы	243
ГЛАВА 3. ОСНОВЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА	245
3.1. Физические основы сварки	245
3.1.1. Общие сведения	245
3.1.2. Физическая сущность сварочных процессов	245
3.1.3. Свойства электрической дуги	250
3.2. Способы сварки плавлением	257
3.2.1. Основные сведения	257
3.2.2. Ручная электродуговая сварка	261
3.2.3. Автоматическая и полуавтоматическая электродуговая сварка под флюсом	272
3.2.4. Дуговая сварка в среде защитных газов	278
3.2.5. Электрошлаковая сварка	284
3.2.6. Газовая сварка	288
3.2.7. Лучевые способы сварки плавлением	296
3.3. Способы сварки давлением	301
3.3.1. Механизм сварки давлением	301
3.3.2. Стыковая сварка	302
3.3.3. Точечная сварка	306
3.3.4. Специальные способы сварки	311
3.4. Технология сварки различных металлов и сплавов	324
3.4.1. Понятие о свариваемости	324
3.4.2. Сварка углеродистых сталей	325
3.4.3. Сварка легированных сталей	326
3.4.4. Сварка чугуна	329

3.4.5. Сварка алюминия и алюминиевых сплавов	331
3.4.6. Сварка магниевых сплавов	334
3.4.7. Сварка титана и его сплавов	334
3.4.8. Сварка меди и медных сплавов	335
3.4.9. Сварка тугоплавких металлов и сплавов	337
3.4.10. Наплавка сплавов	339
3.5. Технологичность сварных соединений	341
3.5.1. Понятие о технологичности сварных соединений	341
3.5.2. Выбор материала	342
3.5.3. Выбор типа соединения и виды сварочных швов ...	345
3.5.4. Выбор формы свариваемых элементов	349
3.5.5. Выбор способа сварки	349
3.5.6. Способы уменьшения сварочных напряжений и деформаций	354
3.6. Обеспечение качества сварных соединений	356
3.7. Контрольные вопросы	365

ГЛАВА 4. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

4.1. Слесарные работы: рубка, правка, резка, гибка, опилование, шабрение, притирка	367
4.1.1. Рубка заготовок	367
4.1.2. Правка заготовок	372
4.1.3. Резка заготовок	375
4.1.4. Гибка заготовок	378
4.1.5. Опилование заготовок	380
4.1.6. Шабрение заготовок	384
4.1.7. Притирка заготовок	391
4.2. Металлорежущие станки и их кинематические схемы	394
4.2.1. Общие сведения о станках	394
4.2.2. Элементы механизмов станков. Кинематическая цепь и кинематическая схема станка ...	399
4.3. Режущий инструмент и его разнообразие	411
4.3.1. Геометрия и типы токарных резцов	411
4.3.2. Инструмент для сквозных и глухих отверстий	419
4.3.3. Инструмент для фрезерования	425
4.3.4. Инструмент для шлифования	428

4.4. Основные виды обработки заготовок на станках: токарные, сверлильные, фрезерные, шлифовальные, зубообрабатывающие, строгальные, долбежные и протяжные	437
4.4.1. Токарные работы	437
4.4.2. Обработка заготовок на сверлильных и расточных станках	452
4.4.3. Фрезерные работы	460
4.4.4. Шлифовальные работы	470
4.4.5. Зубообработка	484
4.4.6. Обработка заготовок на строгальных, долбежных и протяжных станках	498
4.5. Наладка станков для обработки заготовок	512
4.5.1. Общие сведения	512
4.5.2. Базирование заготовки при обработке	513
4.5.3. Схема технологической наладки токарно-револьверного станка	515
4.5.4. Схема технологической наладки вертикально-сверлильного станка	520
4.5.5. Схема технологической наладки шпоночно-фрезерного полуавтомата	522
4.6. Режимы резания при механической обработке заготовок ...	522
4.6.1. Общие сведения	522
4.6.2. Режимы резания при точении	526
4.6.3. Режимы резания при сверлении, зенкеровании и развёртывании	529
4.6.4. Режимы резания при фрезеровании	532
4.6.5. Режим резания при шлифовании	535
4.7. Технологический процесс обработки заготовок и его проектирование	539
4.7.1. Общие сведения	539
4.7.2. Чертёж детали — основа разработки технологического процесса	543
4.7.3. Выбор способов обработки поверхностей и назначение технологических баз	548
4.7.4. Выбор металлорежущего оборудования	553
4.7.5. Разработка технологического маршрута	555
4.7.6. Разработка технологических операций	562
4.8. Контрольные вопросы	567

РАЗДЕЛ 2. НЕМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК	569
--	------------

ГЛАВА 5. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК	569
--	------------

5.1. Электрохимическая обработка в стационарном и проточном электролите	569
5.1.1. Общие сведения	569
5.1.2. Классификация операций электрохимической обработки	570
5.2. Анодно-гидравлическая обработка	573
5.2.1. Общие сведения	573
5.2.2. Электрохимическое формообразование	578
5.2.3. Электрохимическое прошивание отверстий	580
5.3. Электроабразивная и электроалмазная обработка	583
5.4. Электрохонингование	583
5.5. Анодно-механическая обработка материалов	584
5.6. Электроэрозионно-химическая обработка	586
5.7. Контрольные вопросы	587

ГЛАВА 6. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК	589
--	------------

6.1. Лазерная (светолучевая) обработка заготовок	589
6.2. Плазменная обработка заготовок	595
6.3. Электроэрозионная обработка заготовок	598
6.4. Контрольные вопросы	611

РАЗДЕЛ 3. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ	612
--	------------

ГЛАВА 7. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН	612
---	------------

7.1. Показатели точности механической обработки заготовок	612
7.1.1. Характеристики размеров и показателей точности обработки. Мера точности	616
7.1.2. Системы допусков и посадок и их признаки	622
7.1.3. Определение основных отклонений	626
7.1.4. Посадки. Методика построения посадок	630

7.1.5. Посадки с зазором	631
7.1.6. Посадки с натягом	633
7.1.7. Переходные посадки	634
7.2. Средства измерений и их выбор	635
7.3. Контрольные вопросы	642
ГЛАВА 8. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ	643
8.1. Шероховатость поверхности и её влияние на качество поверхности	643
8.2. Нормируемые параметры шероховатости и их выбор ...	645
8.3. Приборы для измерения и контроля шероховатости поверхности	649
8.4. Контрольные вопросы	653
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	654

ВВЕДЕНИЕ

Технология представляет собой в узком смысле — способ преобразования вещества, энергии, информации в процессе изготовления продукции, обработки и переработки материалов, сборки готовых изделий, контроля качества, управления процессами. Технология включает в себя методы, приёмы, режим работы, последовательность операций и процедур; она тесно связана с применяемыми средствами, оборудованием, инструментами, используемыми материалами. Создание новых технологий и совершенствование старых связано с развитием человеческой цивилизации. Вначале их появление было обусловлено использованием ручного труда и примитивных орудий производства. Затем с развитием индустриального производства появились промышленные технологии, в основе которых стали использоваться машины, сложные механизмы и технические устройства. Ведущей отраслью среди многочисленных ответвлений индустриального производства становится машиностроение для различных сфер: тяжёлой индустрии, лёгкой индустрии (производства предметов потребления), добычи полезных ископаемых, производства конструкционных материалов, топливно-энергетического комплекса, агропромышленного комплекса, строительства, транспорта, связи и других областей. В короткой или длинной технологической цепочке изготовления изделий, механизмов и машин важнейшее место занимает технология обработки материалов (металлических и неметаллических), применяемых для заготовок и деталей изделий. Обработка материалов связана с многочисленными видами формообразования заготовок. Основными из них являются методы литья, пластического деформирования, процессы резания, электрофизическая и электрохимическая обработка, способы сварки или пайки и т.д.

Предметом изучения дисциплины «Технологические процессы в машиностроении» является изучение наиболее

прогрессивных технологических методов формообразования заготовок и деталей машин различными методами. При этом студенты получают фундаментальную общинженерную подготовку, необходимую для приобретения знания основ технологической подготовки.

При написании учебника использовались последние достижения науки и техники в области технологии обработки материалов в машиностроении.

Авторы выражают благодарность рецензентам проф., д.т.н. Н. Ф. Скурятину и проф., д.т.н. Н. А. Пелипенко за сделанные ими ценные замечания и пожелания.

Раздел 1

СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1. Литейные сплавы и их свойства

1.1.1. Характеристика литейных сплавов

В качестве литейных сплавов в машиностроении используют железоуглеродистые сплавы — чугуны (серый, ковкий, высокопрочный и со специальными свойствами) и стали (углеродистые и легированные), а также цветные металлы и сплавы на основе меди (бронзы и латуни), алюминия (силумины), магния, титана и др.

В отечественном машиностроении 74 % из всего количества отливок изготавливают из серого чугуна, 21 % из стали, 2,5 % из ковкого чугуна, 2 % из цветных металлов и сплавов и 0,5 % из высокопрочного чугуна.

В чугуне углерод может находиться в химически связанном состоянии в виде цемента F_3C и в свободном состоянии в виде включений графита. В зависимости от количества химически связанного углерода различают серый, половинчатый и белый чугун. В сером чугуне химически связанного углерода менее 0,8 %, в половинчатом более 0,8 %, а в белом чугуне практически весь углерод находится в виде цемента.

Серый чугун является самым дешёвым материалом из литейных сплавов. Особенностью его структуры, т.е. внутреннего строения, является наличие в нём пластинчатого графита, распределённого по всему объёму. Пластинки графита в зависимости от технологических особенностей вып-

лавки чугуна (обеспечение определённого химического состава, заданной скорости охлаждения, модифицирование) могут иметь различные размеры и форму. Модифицирование представляет собой формоизменение присадкой ферросплава — ферросилиция, силикокальция структуры основного сплава. Форма графитовых включений влияет на прочность и циклическую вязкость чугуна. Циклическая вязкость чугуна связана со способностью чугуна рассеивать вибрационные колебания при переменных нагрузках, то есть поглощать (демпферировать) вибрации. Благодаря высокой демпфирующей способности серого чугуна его применяют для изготовления корпусных деталей: станин, фундаментных плит, оснований, массивных кронштейнов и др. Прочность серых чугунов зависит также от структуры металлической основы, которая может быть перлитной, ферритной и феррито-перлитной.

Ковкий чугун в отличие от серого аналога имеет структуру с распределённым по объёму компактным хлопьевидным графитом. Такая форма графита обеспечивает повышенную прочность чугунным деталям, повышенную пластичность и высокую ударную вязкость. Название «ковкий чугун» является условным и указывает на то, что он по сравнению с серым чугуном является более пластичным. Но ковке он не подвергается, наличие свободного графита при ковке приводит к образованию поверхностей раздела и в конечном счёте к разрушению. Структура ковкого чугуна образуется в результате определённой термической обработки (отжига) **белого чугуна**, из которого первоначально отливают заготовку. Белый чугун не имеет свободного графита, и его структура соответствует диаграмме «железо-цементит (железо-углерод)» при содержании углерода выше 2,14 % в железе. Ковкий чугун по механическим свойствам занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. Металлическая основа ковкого чугуна может быть перлитной и ферритной. Применяют ковкий чугун для ответственных деталей автомобилей и сельскохо-

зяйственных машин, воспринимающих высокие динамические и статические нагрузки: корпуса задних мостов машин, коленчатые валы, кронштейны и др.

Высокопрочный чугун в отличие от серого аналога имеет шаровидную форму графита, равномерно распределённого по объёму сплава. Шаровидная (глобулярная) форма графита обеспечивается модифицированием его магнием. Модифицирование магнием может дополняться одновременным добавлением ферросилиция или силикокальция. Это приводит к изменению диаметра глобул графита. Металлическая основа высокопрочного чугуна может состоять из перлита, феррита или совокупности перлита и феррита. Шаровидная форма графита в структуре металла повышает прочность детали. Из высокопрочного чугуна изготавливают коленчатые валы (например, у автомобилей ВАЗ), зубчатые колёса, детали паровых турбин и др.

Чугун со специальными свойствами применяют для деталей, к которым предъявляются требования иметь повышенную износостойкость, повышенную химическую стойкость, определённые электромагнитные или термостойкие свойства, низкий или высокий коэффициент трения и др.

Примером чугунов со специальными свойствами являются:

- *магнитный чугун*, имеющий в структуре ферритную основу с шаровидным графитом. Он применяется для корпусов электромашин, электрических щитов, рам и др.;
- *немагнитный чугун* может представлять собой серый чугун с добавками никеля (7...9 %) и марганца (7...10 %) (в структуре имеется мелкопластинчатый графит) или с добавками марганца (9,8 %) и меди (1,2...2,0 %);
- *чугун с большим электросопротивлением* содержит 4 % кремния, до 3 % никеля и др.;
- *аустенитный чугун (нирезит и никросилал)* обладает высокой кислотостойкостью, щёлочестойкостью и жаропрочностью. Нирезит содержит 14 % никеля,

2 % хрома, 7 % меди и др., а никросилал — 5 % кремния, 18 % никеля, 2 % хрома и др.;

— *антифрикционный чугун АЧС — антифрикционный серый, АЧВ — антифрикционный высокопрочный, АЧК — антифрикционный ковкий.*

Эти чугуны применяют для специальных условий:

АЧС-1 — для работы в паре с закалённым или нормализованным валом;

АЧС-2 — для работы в паре с закалённым или нормализованным валом;

АЧС-3 — для работы в паре с закалённым или нормализованным валом или валом, не подвергающимся термической обработке;

АЧС-4 — для работы в паре с закалённым или нормализованным валом;

АЧС-5 — для работы в особо нагруженных узлах трения в паре с закалённым или нормализованным валом;

АЧС-6 — для работы в узлах трения при температуре до 300 °С в паре с валом, не подвергающимся термической обработке;

АЧВ-1 — для работы в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с закалённым или нормализованным валом;

АЧВ-2 — для работы в условиях трения с повышенными окружными скоростями в паре с валом, не подвергающимся термической обработке;

АЧК-1 — для работы в паре с закалённым или нормализованным валом;

АЧК-2 — для работы в паре с валом, не подвергающимся термической обработке;

— *кислотостойкий чугун* в среде серной кислоты является высококремнистым серым чугуном 14...16 % кремния или кремнемолибденовым серым чугуном, содержащим 14,5...16 % кремния, 3,4...4 % молибдена и др.;

— *жаростойкий чугун (чугаль)* содержит 20...25 % алюминия.

Литейные стали, применяемые в машиностроении, делятся на три группы: конструкционные, инструментальные и со специальными свойствами.

Конструкционные литейные стали применяют для деталей, эксплуатируемых в условиях статических, динамических, вибрационных и других нагрузок. По химическому составу их различают как низкоуглеродистые, среднеуглеродистые и легированные. По структуре они делятся на стали перлитного и феррито-перлитного класса.

Инструментальные литейные стали, как следует из названия, применяют главным образом для литого инструмента: режущего, измерительного, штамповочного и другого. По химическому составу они делятся на среднеуглеродистые, высокоуглеродистые и легированные, а по структуре — на стали перлитного, мартенситного и карбидного классов.

Литейные стали со специальными свойствами применяют для деталей и изделий подвергающихся агрессивному воздействию различных сред, эксплуатируемых при высоких температурах и нагрузках. По структуре — это, главным образом, стали ферритного и аустенитного классов. Специальные свойства этих сталей обусловлены наличием легирующих элементов. Различают низколегированные стали (до 6 % легирующих добавок), среднелегированные стали (6...10 % легирующих добавок) и высоколегированные стали (свыше 10 % легирующих добавок). В маркировке легированных сталей используются буквы русского алфавита: углерод С — У; марганец Мп — Г; кремний Si — С; хром Cr — Х; никель Ni — Н; молибден Мо — М; вольфрам W — В; ванадий V — Ф; алюминий Al — Ю; титан Ti — Т; медь Cu — Д; кобальт Со — К; фосфор Р — П; бор В — Р; ниобий Nb — Б; бериллий Be — Л (внутри обозначения). Обозначения марок литейных сталей заканчиваются буквой Л. Например, одна из марок жаропрочной легированной стали имеет следующее обозначение 10Х17Н10Г4МБЛ, где 0,1 % углерода, 17 % хрома, 10 % никеля, 4 % мар-

ганца, до 1 % молибдена, 0,02...0,05 % ниобия, буква Л в конце означает, что сталь литейная.

Высоколегированные стали со специальными свойствами по назначению выделяют в группы:

- коррозионностойкие (нержавеющие), обладающие стойкостью против атмосферной, почвенной, кислотной, щелочной, солевой и другой коррозии (например, 25X13H2Л);
- жаростойкие (окалиностойкие), обладающие высокой стойкостью против разрушения в агрессивных газовых средах при температурах выше 55 °С (например, 12X18H9ТЛ);
- жаропрочные, способные работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определённого времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью (например, 15X23H18Л). Жаропрочные стали и сплавы применяют для изготовления многих деталей котлов, газовых турбин, реактивных двигателей, ракет и т.д., работающих при высоких температурах.

Жаропрочные стали благодаря невысокой стоимости широко применяются в высокотемпературной технике. Их рабочая температура составляет 500...750 °С.

Криогенные стали выделяют в особую группу. Криогенные стали обладают достаточной прочностью при нормальной температуре в сочетании с высоким сопротивлением хрупкому разрушению при низких температурах. К этим сталям нередко предъявляют требования высокой коррозионной стойкости. В качестве криогенных сталей применяют низкоуглеродистые никелевые стали и стали аустенитного класса, не склонные к хладноломкости. Для сварных конструкций, работающих при температуре до -196 °С, используют стали с 6...7 % Ni (ОН6А) и 8,5...9,5 % Ni (ОН9А), обладающие низким порогом хладноломкости.

Из этих сталей изготовляют цилиндрические или сферические резервуары для хранения и транспортировки сжи-

женных газов при температуре не ниже — 196 °С. Одной из марок криогенных сталей является сталь 10X14Г14Н4Т, которая имеет следующие значения механических свойств: $\sigma_n = 620$ МПа, $\sigma_{0.2} = 280$ МПа, $\delta = 45$ %, $\psi = 60$ %.

Литейные медные сплавы применяют для отливок деталей, которые должны обладать высокой износостойкостью, химической стойкостью и требуемой механической прочностью. Из медных сплавов применяют бронзы оловянные и безоловянные и различные по химическому составу латуни. Бронзы отличаются от латуней тем, что практически не содержат цинк.

В машиностроении бронза, например, используется для изготовления зубчатых венцов червячных колёс, втулок, сопрягаемых с валами, и др.

Латуни применяют для изготовления арматуры, деталей приборов в судостроении, червячных винтов, работающих в тяжёлых коррозионных условиях, и т.д.

Литейные алюминиевые сплавы применяют для изготовления самых различных деталей: корпусов двигателей внутреннего сгорания, тонкостенных корпусных деталей, деталей приборов, кронштейнов, рычагов, поршней и др. Наибольшее распространение в машиностроении получил литейный сплав алюминия с кремнием — силумин.

Литейные магниевые сплавы благодаря малой плотности по удельной прочности превосходят некоторые марки конструкционных сталей, чугунов и алюминиевых сплавов. Магниевые сплавы хорошо поглощают вибрации, что является очень важным свойством материалов для авиации, текстильной и полиграфической промышленности, транспорта, приборостроения и т.д. Например, удельная вибрационная прочность магниевых сплавов с учётом демпфирующей способности в 20 раз больше, чем у легированной стали. Основным легирующим элементом в магниевых сплавах является алюминий.

Литейные титановые и тугоплавкие сплавы обеспечивают деталям работоспособность при высоких температурах.

Титановые сплавы имеют невысокую плотность (до $4,5 \text{ г/см}^3$), высокую прочность на растяжение (1470 МН/м^2) при 600°C . Титановые сплавы легируются чаще всего алюминием. В состав титановых сплавов могут входить марганец, молибден, ниобий, кремний, олово, цирконий.

Применяются титановые сплавы в химической промышленности, судостроении, машиностроении, авиации, ракетной технике, энергомашиностроении, в машинах и оборудовании лёгкой и пищевой промышленности, а также в криогенной технике (аммиачные компрессоры, холодильные установки, центробежные насосы магистральных газопроводов для северных районов, ёмкости для хранения жидкого водорода, азота, гелия и др.).

Тугоплавкие сплавы получают на основе ванадия (температура плавления 1670°C), ниобия (температура плавления 2415°C), молибдена (температура плавления 2610°C), тантала (температура плавления 2996°C), вольфрама (температура плавления 3410°C). Указанные тугоплавкие металлы при повышенных температурах легко окисляются.

Литейные подшипниковые сплавы и материалы предназначены для уменьшения трения и износа трущихся деталей машин и механизмов. Детали, изготовленные из этих материалов, обладают низким коэффициентом трения, хорошей прирабатываемостью, высокой теплопроводностью и теплоёмкостью, способностью удерживать на своей поверхности смазывающее вещество, малой способностью к «схватыванию» с материалом сопряжённой детали и устойчивостью против коррозии. Литейные подшипниковые сплавы на основе олова, свинца, цинка и алюминия называют баббитами. Лучшими баббитами являются оловяносурьмяные сплавы. Структура баббитов представляет чаще всего мягкую металлическую основу, по объёму которой распределены твёрдые включения в виде химических соединений олова и сурьмы (SnSb) или олова и меди (Cu_3Sn). Такая структура обеспечивает быструю приработку трущихся поверхностей деталей машин. Для улучшения свойств бабби-

тов в их состав могут дополнительно вводиться кальций, кадмий, никель, теллур, кальций, натрий, магний и другие элементы.

Кроме приведённых баббитов применяются цинковые и алюминиевые баббиты. В состав цинковых баббитов кроме цинка могут входить алюминий, медь и другие присадки.

В состав алюминиевых баббитов могут дополнительно вводиться сурьма свинец, магний или никель. Коэффициент трения баббитов изменяется в пределах от 0,005 до 0,009.

1.1.2. Свойства литейных сплавов

При конструировании формы наружной поверхности и размеров литой детали необходимо учитывать литейные свойства сплава: жидкотекучесть, объёмную и линейную усадку, склонность к ликвации и образование газовых раковин в объёме отливки.

Жидкотекучесть. Это свойство сплава в жидком состоянии заполнять полость формы и в максимальной степени точно воспроизводить на отливке её рельеф. При малой толщине стенок отливки или при недостаточной жидкотекучести сплава форма заполняется им неполностью, деталь получается с «недоливом», образуя дефект отливки. Чем дальше располагается локальный объём в полости формы от места поступления жидкого сплава, тем больше возможность получения «недолива». Жидкотекучесть сплава измеряется с помощью устройства (технологической пробы), в котором два стержня 2 и 3 при наложении их один на другой образуют полую плоскую спираль (в виде Архимедовой спирали), полость которой имеет трапецеидальное поперечное сечение площадью 56 мм² (рис. 1.1). Заливку полости спирали жидким расплавом осуществляют по каналу (стояку) из литниковой чаши 1, располагаемой на верхнем стержне 2 в конце спирального канала (канавки), а в центре спирали устраивают канал (выпор) 4 с диаметром выходного отверстия 10 мм для выхода воздуха при запол-

нении полости спирали расплавленным металлом. Спиральные канавки трапецеидального сечения выдавливают при изготовлении устройства на нижнем стержне 3. На спираль наносят отметки с интервалом 50 мм. Чем больше жидкотекучесть сплава, тем длиннее участок полости спирали, заполняемый жидким сплавом. Полностью заполнить спираль металл не может, так как по мере заполнения полости металлом растёт гидравлическое и термическое сопротивление дальнейшему его течению и начинается процесс кристаллизации (затвердевания). Кроме того, перегрев металла ведёт к повышенному насыщению расплава газами, которые в металле образуют соединения в виде нитридов, оксидов, гидридов, а при охлаждении частично выделяются в свободном состоянии и образуют в отливке пустоты — газовые раковины. Такая технологическая проба фактически моделирует процесс заполнения полости формы жидким металлом.

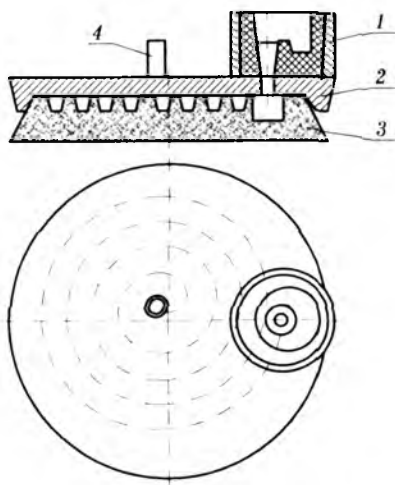


Рис. 1.1. Технологическая проба для оценки жидкотекучести:
1 — литниковая чаша; **2** — верхний стержень;
3 — нижний стержень со спиральными каналами трапецеидального сечения; **4** — выпор

Фосфористые чугуны, оловянные бронзы и силумины обладают хорошей жидкотекучестью. С повышением температуры заливаемого сплава жидкотекучесть увеличивается. Вместе с тем, значительно перегревать сплав нельзя, так как структура затвердевшего после заливки чрезмерно перегретого металла может сильно ухудшить его свойства.

Минимальная толщина $l_{\min}$ необработанных стенок в отливке зависит от состава сплава и габаритных размеров отливки. Её можно определить с помощью таблицы 1.1 или номограммы по величине N .

Таблица 1.1

Зависимость $l_{\min}$ от N и состава сплава

N	$l_{\min}$				
	Стальная сталь	Безоловянные бронзы	Серый чугун	Оловянные бронзы	Силумины
0,5	10	8,5	7	4	5
1	12	10,5	9	6	6
2	15,5	14	12,5	10	9
3	20	17,5	16	15	—
4	23,5	21,5	20	19	—
5	27,5	25	24	—	—
6	31	—	27	—	—
7	35	—	30,5	—	—
8	38,5	—	35	—	—

Для коробчатых отливок эта величина равна:

$$N = \frac{2l + b + h}{4}.$$

Для остальных отливок она равна:

$$N = \frac{2l + b + h}{3}.$$

Здесь l — длина (в мм);

b — ширина (в мм);

h — высота (в мм).

Из таблицы видно, что наилучшей жидкотекучестью обладают оловянные бронзы, затем силумины, далее — серый чугу́н. Худшую жидкотекучесть имеет литейная сталь.

Усадка. Это свойство сплава уменьшаться в объёме и линейных размерах при затвердевании и охлаждении. Объёмную и линейную усадку обычно выражают в процентах. На величину усадки оказывают влияние химический состав и температура заливки сплава и другие факторы. С повышением температуры заливаемого сплава усадка отливки увеличивается.

Для отливок из серого чугуна линейная усадка в среднем составляет 1 %, для отливок из стали — 2 %, для отливок из большинства медных сплавов — 1,5 %. Усадка приводит к усложнению производства отливок. В процессе кристаллизации металл охлаждается в литейной форме неравномерно, что способствует непрерывному движению жидкости внутри отливки — конвективному перемещению расплава. Кристаллизация начинается в литейной форме в поверхностных слоях отливки, примыкающих к холодной поверхности формы, поэтому жидкость перемещается к поверхностным слоям для участия в процессе кристаллизации. В центральной части, остающейся жидкой, кристаллизация начинается позднее в условиях протекающей убыли жидкого расплава и отсутствия её восполнения. Это может приводить к образованию пустот внутри толстых частей отливок.

Так как в процессе кристаллизации металл в результате усадки уменьшает свой объём, то отливка сокращает свои линейные размеры. В разных направлениях и в разных по толщине сечениях отливка сокращается неравномерно. Тонкие части кристаллизуются быстрее и сокращаются в размерах раньше, чем массивные, которые испытывают дополнительное сопротивление при изменении размеров.

Неравномерная усадка в процессе кристаллизации вызывает возникновение в отливке напряжений, которые называются термическими. Литейная форма и её элементы — стержни обладают значительной прочностью и также препятству-

ют усадке отливки и сдерживают уменьшение её размеров. В результате сдерживания усадки в отливке возникают напряжения, которые называют усадочными напряжениями. В затвердевшей отливке проходят сложные процессы фазовых превращений (перлитное превращение, выделение цемента, графитизация и др.), связанные с изменениями микрообъёмов внутри металла. Эти процессы ведут к возникновению внутренних напряжений, называемых фазовыми. Указанные напряжения в отливках суммируются или вычитаются, что ведёт к образованию в охлаждённой отливке остаточных литейных напряжений. Их величина зависит от конструкции отливки, физических свойств сплава, особенностей конструкции литейной формы и стержней, от условий охлаждения отливки в форме. Напряжения могут достигать такой величины, что могут превысить предел прочности сплава. Особенно опасны напряжения растяжения, так как ведут к деформации (короблению) отливок или к развитию трещин.

Трещины в отливках появляются как в горячем, так и в холодном состояниях.

Горячие трещины появляются при температуре, близкой к температуре затвердевания сплавов, когда они имеют очень низкую прочность.

При затвердевании и последующем охлаждении внешние, менее горячие слои отливки затрудняют усадку внутренних горячих слоёв. В результате внутренние слои, находящиеся в пластическом состоянии, будут пластически растянуты, а наружные слои упруго сжаты. Такое состояние ведёт к короблению отливки, т.е. к искажению её формы. Трещины, возникающие в затвердевшей отливке под влиянием остаточных напряжений, называют холодными. Они образуются чаще всего в тонкостенных отливках сложной конфигурации и неравномерного сечения, изготавливаемых из сплавов с большой линейной усадкой.

При конструировании отливок учитывают вредное влияние линейной усадки. В острых внутренних углах при затвердевании отливки образуется стык столбчатых кристал-

лов, который при усадке создаёт узел концентрации напряжений. Поэтому в сопряжениях поверхностей под углом предусматривают закругление (галтель). Предусматривают более облегчённые условия усадки в конструкции отливки, не допуская большого количества выступающих частей в литой заготовке, которые чаще всего тормозят усадку. В литых колёсах предусматривают спицы, расположенные под углом к ободу или искривлённые вдоль оси. В процессе усадки спицы слегка выпрямляются. Для предупреждения трещин в стыках толстой и тонкой стенок в конструкциях предусматривают плавный переход от одной стенки к другой. Устраняют возможность коробления обеспечением отливке жёсткой конструкции. Коробление литых длинных Т-образных (тавровых) деталей устраняют утолщением верхней полки в сравнении со средней стенкой, а двутавровых деталей — утолщением средней стенки по сравнению с полками. Коробление литых плит или коробчатых конструкций устраняют добавлением рёбер жёсткости. При схождении нескольких стенок конструкции в один узел для предупреждения трещин в нём предусматривают уменьшение объёма металла за счёт разнесения стенок друг от друга, или создания в нём отверстия, или предусмотрения плавных углублений на наружной поверхности. Кромки литых стенок с большой поверхностью упрочняют буртиком, чтобы избежать их коробления. При конструировании отливки учитывают уменьшение её размеров из-за усадки.

Ликвация. Она представляет собой химическую и структурную неоднородность сплава в различных частях отливки. Различают дендритную ликвацию и зональную. Дендритная ликвация характеризуется неоднородностью величины зерна. Она проявляется при больших скоростях охлаждения. В отливках она наблюдается в массивных частях, а также в тех частях, которые кристаллизуются в последнюю очередь. Для предупреждения дендритной ликвации при изготовлении отливок предусматривают расположенный за пределами отливки, но соединённый с ней объём

металла, в котором металл кристаллизуется в последнюю очередь. Этот объём металла называют прибылью. Устраняют дендритную ликвацию диффузионным отжигом при высоких температурах и длительных выдержках. Зональная ликвация имеет место при затвердевании сплава в процессе охлаждения. Она происходит вследствие расслоения сплава в жидком состоянии из-за различной плотности его компонентов. В тонкостенных отливках зональная ликвация развивается меньше. В толстых частях отливок она концентрируется чаще. Предупреждают зональную ликвацию созданием условий затвердевания отливки в направлении установленной прибыли.

Газовые раковины. В период затвердевания отливки из металла выделяются газы, которые растворены в жидком металле. Если газовый пузырь не успевает всплыть на поверхность металла, находящегося в форме или в прибыль, то в отливке образуется газовая раковина. Причиной образования газовых пузырей или пористости может быть плохая газопроницаемость формовочной смеси в форме или затруднённый отвод газа. Отливки с протяжёнными горизонтальными поверхностями в форме часто имеют свойство накапливать газовые пузырьки в приповерхностном слое с образованием пористых участков. Предупреждают образование газовых пузырей и пористостей дегазацией расплавов, т.е. помещением всего расплава в вакуумную камеру, продувкой его инертными газами, а также опусканием в расплав передвижной вакуумной камеры, через которую с помощью магнитных полей последовательно пропускается весь расплав и в которой он освобождается от газов.

1.2. Плавильные агрегаты и плавка литейных сплавов

В литейном производстве используют самые различные виды плавильных агрегатов. До недавнего времени самым распространённым плавильным агрегатом для плавки чугуна являлись шахтные печи — вагранки различной про-

изводительности. В них переплавлялось до 80 % чугуна для производства отливок. Из-за низкой экономической эффективности в настоящее время вагранки вытесняются электрическими печами: дуговыми и индукционными, имеющими сравнительно небольшую ёмкость расплавленного металла (до 10 т). Вместе с тем, на некоторых заводах до сих пор используют вагранки, на других заводах вагранки не демонтированы, а законсервированы. Вагранки имеют такие недостатки, как высокие удельные энергозатраты, высокий угар легирующих элементов при добавлении ферросплавов, затруднённая работа в управлении химическим составом и др. Преимущества вагранки заключаются в простоте обслуживания и надёжности работы плавильного агрегата. Эти факторы обусловили долговечное её использование на всех машиностроительных заводах.

Плавку железоуглеродистых сплавов (чугунов и сталей) проводят в электрических дуговых и индукционных печах, которые могут быть использованы индивидуально, а иногда в варианте спаренных (дуплекс-процесс) и строенных (триплекс-процесс) плавильных агрегатов. Варианты соединённых плавильных агрегатов применяются для выплавки высококачественных сплавов. В структуре современных крупных машиностроительных предприятий предусмотрены электроплавильные цехи.

При выборе плавильных агрегатов и технологии плавки сплавов учитывают характер производства, структуру цеха, номенклатуру отливок. Основные требования, которые предъявляют к плавильным агрегатам, являются:

- обеспечение производства достаточным количеством жидкого металла;
- обеспечение заданного химического состава сплава в узких пределах;
- соблюдение необходимого температурного режима плавки.

Дуговые электрические печи. Их используют для плавки чугуна и стали. При плавке чугуна может быть исполь-

зована шихта, содержащая стальной лом (скрап, отходы заготовительных цехов, штамповочного производства и др.). При выплавке высокоуглеродистых марок сталей науглероживание расплава производят малосернистым коксом, использование углерода которого может составлять до 85 %. В литейных цехах используются дуговые печи ёмкостью до 50...100 т и более. По общей конструкции они мало чем отличаются от электродуговых печей металлургического цикла передела стали. Чаще всего используют в печах основную футеровку, для удаления основным шлаком фосфора и серы. В зоне электрической дуги температура достигает 3300 °С, поэтому шлак сильно разжижается и активно участвует в процессе очищения сплава от вредных примесей: фосфора и серы. Вместе с тем при высокой температуре азот диссоциирует на атомы, легко поглощаемые металлическим расплавом. В связи с этим в расплав вводят специальные добавки в составе шихты, связывающие азот и переводящие его в практически безвредные для металла прочные соединения, равномерно распределённые по всему объёму.

В дуговых печах естественного конвективного перемешивания расплава недостаточно для получения однородного по химическому составу расплава. Поэтому в печах предусматривают устройства для электромагнитного перемешивания и скачивания шлака. Электромагнитные перемешиватели повышают производительность печей, так как сокращают продолжительность плавки, улучшают качество металла. Особенно эффективно применение электромагнитных перемешивателей при выплавке высоколегированных чугунов и сталей. На рисунке 1.2 представлена схема одного из типов электродуговых печей с электромагнитным перемешивателем. Здесь стенки 1 корпуса печи, съёмный арочный свод 2 и подина 5 образуют замкнутое рабочее пространство, в котором происходит плавка металла дугой, горящей между электродами 3. Загрузка шихты происходит через загрузочное окно 4. Перемешивание

осуществляется электромагнитным перемешивателем 6, который может работать в режиме перемешивания и в режиме скачивания шлака. При первом режиме шлак собирается в центре зеркала, а в режиме скачивания под действием электромагнитного поля перемещается к загрузочному окну и удаляется самотёком при достижении расплавом определённого уровня металла на подине. Ванна металла в дуговой печи имеет небольшую глубину и относительно большую поверхность (зеркало). Такое соотношение параметров объёма жидкого металла способствует активизации химических процессов на границе раздела шлак — металл.

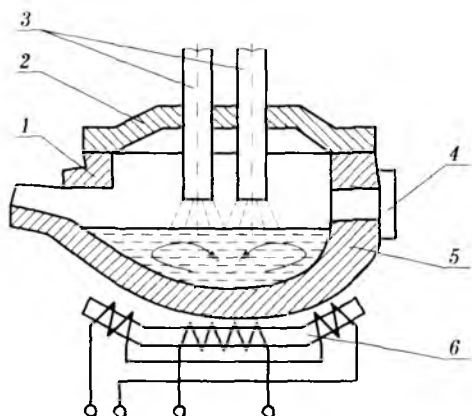


Рис. 1.2. Схема дуговой электрической печи:
 1 — стенка корпуса печи; 2 — съёмный арочный свод;
 3 — электроды; 4 — загрузочное окно; 5 — подина;
 6 — электромагнитный перемешиватель

Индукционные электрические печи. Данные печи используются для плавки железоуглеродистых и цветных сплавов. Нагрев в этих печах осуществляется электрическим током различной частоты: 50, 150, 450, 1000, 2500 Гц. По конструкции печи бывают тигельные с сердечником и без сердечника с наружным индуктором (рис. 1.3), а также канальные с сердечниками (рис. 1.4). Тигельная индукцион-

ная печь загружается шихтой через окно в крышке 1. Нагрев и расплавление шихты обеспечивается наружным индуктором 3, который охватывает тигель 2 с расплавом 4 и располагается в немагнитном каркасе. Загрузка шихты осуществляется автоматически из бункера с дозатором, которые на схеме не указаны.

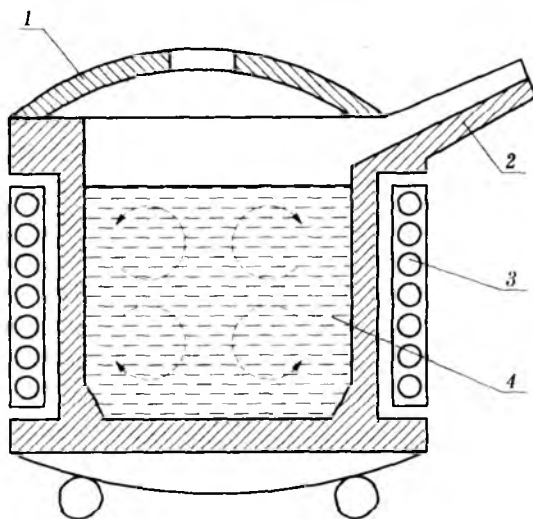


Рис. 1.3. Схема индукционной тигельной печи без сердечника с наружным индуктором:
 1 — крышка с загрузочным окном; 2 — тигель;
 3 — наружный индуктор; 4 — расплав

При плавке в тигельной индукционной печи металл располагается внутри индукционного тигля и имеет относительно малую площадь соприкосновения с атмосферой, что снижает потери тепла металлом и уменьшает его газонасыщенность. Шлаки в такой печи имеют относительно низкую температуру, что не позволяет проводить металлургические процессы с участием активных химических окислительно-восстановительных реакций на границе раздела шлак-металл. Поэтому тигельные индукционные печи используют в режиме переплава металла с регулированием состава с помо-

щью добавления лигатур, добавок с высоким содержанием какого-либо легирующего металла. Лигатура представляет собой вспомогательный сплав, служащий для ввода в расплавленный металл необходимых химических элементов. Как правило, лигатура имеет более низкую температуру плавления, чем температура плавления наиболее тугоплавких составляющих сплава. Применяют двойные и тройные лигатуры, содержащие два или три элемента. Для выплавки чугуна и стали лигатурой являются ферросплавы (ферромарганец, ферросилиций и др.). Например, при выплавке бронзы Бр. ОЦСН 3-7-6-1 лигатурой являются сплавы из меди, олова и никеля, а также из меди, свинца и цинка.

Для переплава металла могут применяться разные частоты электрического тока. С понижением частоты, проникновение магнитных силовых линий в металл и, соответственно, перемешивание расплава усиливается. Низкая частота особенно эффективна при переплаве низкокомпактной шихты (обрезки, высежки и отходы листовой штамповки), в момент науглероживания расплава коксом и графитовым электродным боем, при введении легирующих добавок, а также для исключения расслаивания расплава.

Металл, выплавленный в индукционной печи, имеет высокое качество, так как из-за низкого содержания газов, оксидов, нитридов и других примесей обладает повышенной жидкотекучестью. В индукционной печи можно эффективно проводить удаление серы из расплавленного чугуна с помощью добавок карбида кальция CaC_2 , кальцинированной соды Na_2CO_3 и извести CaO . Индукционные печи могут работать на твёрдой и жидкой завалке, поэтому они могут использоваться в схеме дуплекс-процесса, т.е. при последовательной работе двух печей, для получения различных марок высококачественных сплавов.

Индукционные каналные печи конструктивно отличаются от тигельных печей количеством индукторов. Они используются для выдержки с подогревом и доводки химического состава расплава, а также для выдержки и дози-

ровки при заполнении литейных форм. Индукторы у этих печей делают отъёмными в донной части печи. На рисунке 1.4 показана схема одного из видов канальных индукционных печей, предназначенных для выдержки расплава и дозирования при заполнении литейных форм. Выдержка металла необходима после заполнения печи металлом из разливочного ковша *1* (на рис. 1.4 показана часть ковша). Внутри отъёмного индуктора *6* располагается сердечник *8*, выполняющий роль первичной обмотки, и образуемый индуктором и сердечником канал *7*, заполняемый жидким металлом *5*, который выполняет роль вторичной обмотки. Жидкий металл, предварительно залитый в канал *7*, создаёт короткозамкнутый вторичный виток, в котором индуцируется (возбуждается) электрический ток большой силы. Возникающая в этом кольце электроэнергия превращается в тепловую. Металл, залитый в канал, быстро нагревается и передаёт теплоту твёрдой шихте или подогревает жидкий металл. Выпуск металла в литейную форму осуществляется через сифонную (нижнюю) летку *3*, благодаря чему шлак или примеси не попадают в отливку.

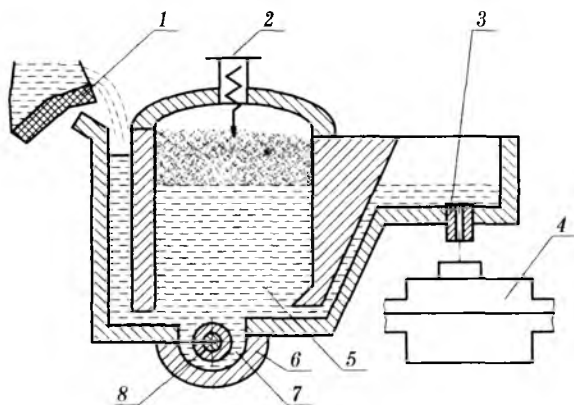


Рис. 1.4. Канальная индукционная печь:

- 1* — часть заливочного ковша; *2* — клапан; *3* — нижняя сифонная летка; *4* — литейная форма; *5* — жидкий металл; *6* — отъёмный индуктор; *7* — канал; *8* — сердечник

В крышке печи размещается клапан 2, через который в печь подаётся сжатый воздух или инертный газ под давлением. Воздух или газ вытесняют жидкий металл через сифонную летку в литейную форму. Металл в закрытой канальной печи может выдерживаться и сохраняться без окисления практически неограниченное время. Полезная ёмкость печей достигает 250...300 т. Канальные индукционные печи применяют при производстве чугунов, медных, алюминиевых и цинковых сплавов.

Для плавки алюминиевых сплавов большое распространение получили поворотные тигельные печи, нагрев в которых осуществляется с помощью жидкого или газообразного топлива. Печь состоит из стального кожуха с футеровкой, внутрь которой устанавливают тигель. На тигель и кожух сверху устанавливают широкий фланец так, чтобы печные газы, омывающие снаружи стенки тигля, не попадали в тигельное пространство с расплавом. Печь цапфами, расположенными на кожухе, устанавливают на сварную или литую раму так, чтобы её можно было бы наклонять (поворачивать) в обе стороны от вертикальной оси. Форсунку для сжигания топлива устанавливают так, чтобы факел пламени омывал боковые стенки тигля. Дымовые газы через дымоход удаляются в трубу.

Кроме тигельных печей широко распространены электрические печи сопротивления, вмещающие расплав массой 300...3000 кг.

Для плавки медных сплавов применяют дуговые однофазные электропечи с независимой дугой (рис. 1.5), индукционные печи и реже тигли, обогреваемые в горнах с помощью жидкого или газообразного топлива. Печь, представленная на рисунке 1.5, состоит из корпуса 1, имеющего внутри футеровку 2 из dinasового или шамотного кирпича. Корпус печи, опираясь на опорные ролики 5, с помощью приводного устройства 6 может совершать реверсивные колебания (покачивания) вокруг горизонтальной оси. Этот же механизм используется для поворота корпуса при сливе рас-

плава. Покачивание корпуса способствует более быстрому расплавлению шихты и перемешиванию расплава. Электрическая дуга образуется между двумя горизонтальными электродами 4 и находится на небольшом расстоянии от поверхности сплава, нагрев которого происходит от тепла дуги и от раскалённой поверхности футеровки. В боковой стенке корпуса имеется окно для загрузки шихты, непосредственно под которым находится сливной жёлоб для выпуска расплава. Во время работы печи окно закрывают крышкой 3. Атмосфера в печи является восстановительной из-за сгорания электродов, что уменьшает угар и окисление металла.

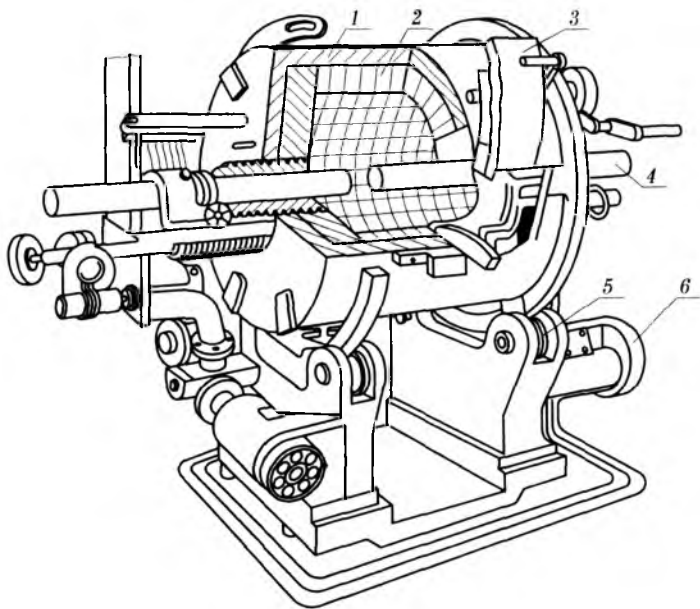


Рис. 1.5. Однофазная дуговая печь:
1 — корпус печи; 2 — футеровка; 3 — крышка загрузочного
окна; 4 — электроды; 5 — опорные ролики;
6 — приводное устройство для качания и наклона печи

Печи работают на однофазном токе. Полезная ёмкость печей составляет от 0,1 до 1,0 т.

Магниевого сплавы в зависимости от объёма производства выплавляют в тигельных печах с жидкостным или газовым обогревом, в электрических печах сопротивления и индукционных. Плавильные агрегаты для расплавления магниевых сплавов применяют с учётом способности магния активно соединяться с кислородом, азотом, водородом. Поверхность расплава покрывают флюсом на основе серы, хлористых и фтористых солей магния, калия, бария и кальция. Применяют также флюс на основе серы и борной кислоты. Очаги возгорания магния тушат припыливанием их этим флюсом.

Титановые сплавы плавят в среде аргона или в вакууме, так как титан активно взаимодействует с кислородом или азотом воздуха. Используют для этого вакуумные электродуговые печи с расходуемым электродом. Широко применяют также индукционные высокочастотные печи.

Для плавки тугоплавких металлов используют электронно-лучевые печи, а также плазменные печи с графитовыми или медными водоохлаждаемыми тиглями.

В электронно-лучевых печах металл плавят за счёт тепловой энергии, выделяющейся при резком торможении электронов, разогнанных до большой скорости, при встрече с кусками шихты. Источником электронов является электронная пушка, с катодом из вольфрама, нагретого до 2000...2500 °С.

Печь состоит из вакуумной камеры, электронной пушки, экрана, тигля, формы и вакуумного насоса.

В плазменных печах используют косвенное влияние тепловой энергии плазмы. Для устранения окисления металла зону плавления защищают инертным газом — аргоном.

1.3. Формовочные и стержневые смеси и их приготовление

Формовочные и стержневые смеси являются строительным материалом для изготовления литейных форм, в которых после заливки расплавленным металлом образуются

заготовки (отливки) деталей машин. Формовочная смесь ограничивает в литейной форме наружные поверхности и их размеры у отливок. Стержневые смеси необходимы для изготовления элементов литейной формы (стержней), которые образуют отверстия, полости, поднутрения, т.е. внутренние поверхности отливок. Стержни могут иметь форму валиков, конусов, их соединений, параллелепипедов и других сложных и объёмных фигур. Формовочные и стержневые смеси состоят из кварцевого песка, глины, связующих материалов, влаги и других добавок. Стержневые смеси в отличие от формовочных смесей имеют более высокое содержание кварцевого песка и меньшее содержание глины, так как после заливки формы расплавленным металлом испытывают высокие термические нагрузки, потому что находятся почти в полном окружении расплавленного металла.

Формовочные и стержневые смеси должны иметь высокие физико-механические свойства: пластичность, текучесть, газопроницаемость, прочность и противопопригарность.

Пластичность представляет собой свойство смесей обеспечивать получение в форме отчётливого отпечатка модели детали. Модель представляет собой изделие, воспроизводящее наружные очертания отливки, которое сначала устанавливают в форму. После окончания изготовления формы модель извлекают для подготовки формы к заливке расплавленным металлом. Пластичность смеси увеличивается с повышением в ней (до определённого предела) связующих материалов и воды.

Текучесть смесей представляет их свойство под действием внешних сил (трамбовок) заполнять полость в стержневом ящике для изготовления стержня или обтекать установленную в форму (опоку) модель. Чем выше текучесть смеси, тем равномернее уплотняется смесь около модели. Она зависит от природы и количества связующего вещества, а также от размера и формы зёрен песка.

Газопроницаемость представляет собой свойство формовочных и стержневых смесей уплотнённых, но имеющих

пористость, пропускать газы. Из смесей в процессе заливки формы расплавом выделяется большое количество газов. Если газопроницаемость смеси недостаточна, то газы могут попасть в расплавленный металл и образовать газовую раковину. Газопроницаемость смесей увеличивается с применением песка, содержащего зёрна одинаковой величины, и уменьшением в смесях содержания глины. Газопроницаемость определяют прибором, с помощью которого через стандартный образец из уплотнённой формовочной смеси продувают 2000 см^3 воздуха и измеряют время его прохождения и давление воздуха под образцом. Газопроницаемость является безразмерной величиной и выражается в единицах. Газопроницаемость используемых формовочных смесей составляет 30-150 единиц. Чем больше по габаритным размерам форма, тем больше должна быть газопроницаемость.

Газопроницаемость определяется прибором и выражается формулой:

$$K = \frac{nVh}{Fpt},$$

где n — коэффициент, зависящий, от единиц измерения давления p ($n = 10$, если p измеряется в мм вод. столба);

V — объём воздуха, прошедшего при испытании через цилиндрический образец (обычно 2000 см^3);

h — высота образца (обычно 50 мм), мм;

F — площадь поперечного сечения ($d = 50 \text{ мм}$), мм^2 ;

p — давление воздуха перед входом в образец, мм вод. столба;

t — время прохождения воздуха через образец при испытании, с.

Газопроницаемость формовочной смеси для чугунного литья обычно составляет 30...80, для стального 70...100, для бронзового, латунного и алюминиевого литья — около 30.

Противопригарность (огнеупорность) представляет собой свойство смесей в форме не спекаться и не сплавляться

с расплавленным металлом. Если формовочная смесь будет пригорать к отливке и образовывать на её поверхности сплошную корку из смеси окислов металла и песка, то это будет затруднять последующую механическую обработку отливки.

В формовочную смесь добавляют противопопригарные добавки: каменный уголь для чугунных отливок, мазут для бронзы. Для этой же цели формы и стержни покрывают краской и припылами. В состав краски входят огнеупорная глина, графит, молотый кварцевый песок, а также связующие вещества (крепители). В качестве припылов применяют порошок графит, молотый древесный уголь и др.

Прочность представляет собой способность формы и смеси выдерживать нагрузки без разрушения. Форма не должна разрушаться при изготовлении, транспортировке и воздействии на неё жидкого металла. Прочность увеличивается, если в смеси повышается (до определённого предела) содержание глины, связующих добавок, песка с мелкими угловатыми зёрнами и воды. Из связующих материалов, повышающих прочность, применяют жидкое стекло, синтетические смолы и др. Прочность формовочных смесей в сыром состоянии в форме достигает $2,9...15,7 \text{ МН/м}^2$, а стержней $49...196 \text{ МН/м}^2$.

Оптимальная влажность представляет собой влагосодержание смеси, обеспечивающее наибольшую прочность формы и пластичность, но не допускающее вскипания влаги и парообразование в форме. Эти процессы ведут к появлению раковин в отливке и к разрушению формы.

Формовочные смеси готовят по определённому рецепту. Основным материалом для изготовления формовочных смесей являются обратная (ранее использовавшаяся) смесь и свежие добавки (песок, глина, вода и др.).

Формовочные смеси по способу применения делятся на облицовочные, наполнительные и единые. Облицовочная смесь — это формовочная или стержневая смесь в форме или слой стержня, которые примыкают непосредственно к

поверхности отливки. Наполнительная смесь заполняет в форме объём, оставшийся после нанесения облицовочной смеси. Единая смесь используется одновременно в качестве облицовочной и наполнительной смеси. При изготовлении крупных и сложных форм используют облицовочную и наполнительную смеси. В массовом производстве чаще используют единые смеси, применение которых облегчает автоматизацию процессов формовки и повышает производительность труда.

Стержневые смеси состоят в основном из песка и связующих веществ. По принципу действия связующие вещества делят на три группы:

- высыхающие (льняное масло, поливиниловый спирт, сланцевая смола, лигносульфонит);
- склеивающие (сульфитный щёлок, декстрин, жидкое стекло);
- затвердевающие (торфяной и древесный пёк, канифоль, синтетические смолы).

Формовочные и стержневые смеси, твердеющие в литейной оснастке с нагревом или без нагрева этой оснастки, разнообразны по составу, но основой их являются формовочные пески.

В литейном производстве в настоящее время применяют следующие смеси: твердеющие в результате продувки газом; постепенно твердеющие в результате взаимодействия компонентов, введённых заранее в смесь.

Пластичные песчано-смоляные смеси твердеют при комнатной температуре в присутствии катализаторов. Они содержат фенолформальдегидные, фенолофурановые, карбамиднофурановые, фенолокарбамиднофурановые и др. Катализаторами могут быть бензосульфокислота, ортофосфорная кислота и комплексные смеси, состоящие из нескольких компонентов.

Песчано-смоляные смеси твердеют при продувке газобразным катализатором (на основе полиизоцианатного соединения).

Песчано-жидкостекольные смеси упрочняются продувкой углекислого газа (CO_2 -процесс).

Песчано-жидкостекольные пластичные самотвердеющие смеси (ПСС-процесс) твердеют под воздействием двухкальциевого силиката ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), вводимого в смесь на стадии её изготовления.

Жидкие самотвердеющие смеси (ЖСС-процесс) содержат в своём составе жидкое стекло, синтетические смолы, лигносульфонит и в качестве упрочняющей добавки феррохромовый шлак. Твердение смеси происходит из-за взаимодействия двухкальциевого силиката, содержащегося в феррохромовом шлаке, с жидким стеклом с образованием кальцево-натриевых гидросиликатов, связывающих песчинки между собой.

Сыпучие самотвердеющие смеси (СС) широко применяют для изготовления средних и крупных форм и стержней. В их состав входят кварцевый песок (его количество принимают за 100 %, а содержание остальных компонентов выражают в процентах от количества песка), жидкое стекло — 2,5...3,5 %, ацетатэтиленгликоль — 10...12 %, и сахаросодержащие добавки для облегчения выбивки форм и стержней.

Для изготовления стержней без тепловой обработки применяют холоднотвердеющие смеси (ХТС) на основе карбамидно-формальдегидных смол, кварцевого песка, борной кислоты, ортофосфорной кислоты и катализатора. Стержни из ХТС используют для крупногабаритных отливок из цветных и чёрных металлов и сплавов при литье в песчаные и металлические формы.

Для получения тонкостенных отливок повышенной точности из жаропрочных сплавов применяют керамические стержни из электрокорунда, содержащие в качестве связующих добавок композицию глинозёма (Al_2O_3) и двуокиси титана (TiO_2). Стержни изготавливают горячим прессованием при температуре 120 °C с последующими подогревом от 300 °C до 1100 °C и обжигом при температуре 1380...1430 °C в газовых проходных печах.

Технология приготовления формовочных смесей включает следующие стадии:

- подготовку свежего песка, глины и других исходных материалов;
- подготовку оборотных смесей;
- приготовление смеси.

Пески сушат при температуре около 250 °С в кипящем слое или в воздушном потоке, а также в печах барабанного типа или других установках и затем просеивают.

Глину сушат при температуре 200...250 °С в печах барабанного типа, размельчают на дробилках, затем размалывают в шаровых мельницах или бегунах и просеивают. В формовочную смесь глину целесообразно вводить не в порошкообразном состоянии, а в виде суспензии (35...40 частей глины и 45...60 частей воды), приготовляемой в лопастных смесителях и других устройствах.

Угольный порошок получают размолом угля аналогично получению порошкообразной глины.

Порошкообразные кварц, графит, синтетические смолы, катализаторы и другие исходные материалы поступают в цех в готовом виде.

Оборотную смесь после выбивки из форм разминают на гладких валках, очищают от металлических частиц на магнитном сепараторе и просеивают.

Регенерация формовочных и стержневых смесей, содержащих плёнки синтетических смол и других связующих веществ, имеет большое значение, так как позволяет сократить расход свежего песка на 40...60 %. Для крупного специализированного литейного производства экономия составляет 150...200 тыс. т песка в год. Один из применяемых в производстве процессов — способ гидрорегенерации — включает дробление, магнитную очистку, оттирку (разрушение плёнок связующих веществ с применением ультразвукового, вибрационного и других методов), фракционирование (разделение зерна на фракции по величине зерна) и обезвоживание. Регенерат со степенью от-

тирки до 80 °С по свойствам практически не отличается от свежего песка.

Приготовление песчано-глинистых формовочных смесей включает несколько операций: перемешивание компонентов смеси, увлажнение, вылёживание и разрыхление. Перемешивание смеси наиболее часто производят в смесителях-бегунах разной конструкции. Наиболее часто используют бегуны с вертикальными катками и центробежные маятниковые с горизонтальными катками. На рисунке 1.6 показаны бегуны с вертикальными катками. Для объединения процессов размалывания и просеивания бегуны соединены с ситом. Компоненты смеси поступают по жёлобу 1 в сито 2, насаженное на горизонтальный вал 3, получающий вращение от ведущего вала 4 при помощи шестерён 5 и 6. Мелкая смесь, не задерживаемая ситом, проваливается вниз и используется по назначению. Крупные куски захватываются лопатками внутри сита, поднимаются вверх при вращении сита и сбрасываются на жёлоб 7, а с него в чашу 8 бегунов. Здесь они размельчаются массивными катками бегунов 9 и 10. На верхней шейке вертикального вала 11 закреплена поперечина 12, в проушины которой установлены валки-кривошипы 13 и 14. На ось кривошипов насажены катки 9 и 10. Такая форма кривошипов позволяет каткам подниматься при попадании под него куска металла или камня и не создавать изгибающий момент, который бы действовал на вертикальный вал 11. Каток 9 расположен ближе к центру вращения, а каток 10 — дальше. Такое расположение позволяет увеличить суммарную ширину контакта ободов катков с днищем чаши. Вал 11 приводится во вращение с помощью конических шестерён 15 и 16. Скребки 17 и 18, соединённые с поперечиной, двигаются по окружности чаши, отгребают размалываемый материал от стенок и направляют готовую смесь по жёлобу 19 в сито. Во время работы оборудования чаша бегунов и сито закрывают колпаками для предотвращения попадания пыли в окружающую среду.

В современных литейных цехах оборудуют автоматизированные смесеприготовительные системы, работающие в комплексе с автоматизированными формовочными линиями. Управление комплексной системой осуществляется с центрального пульта.

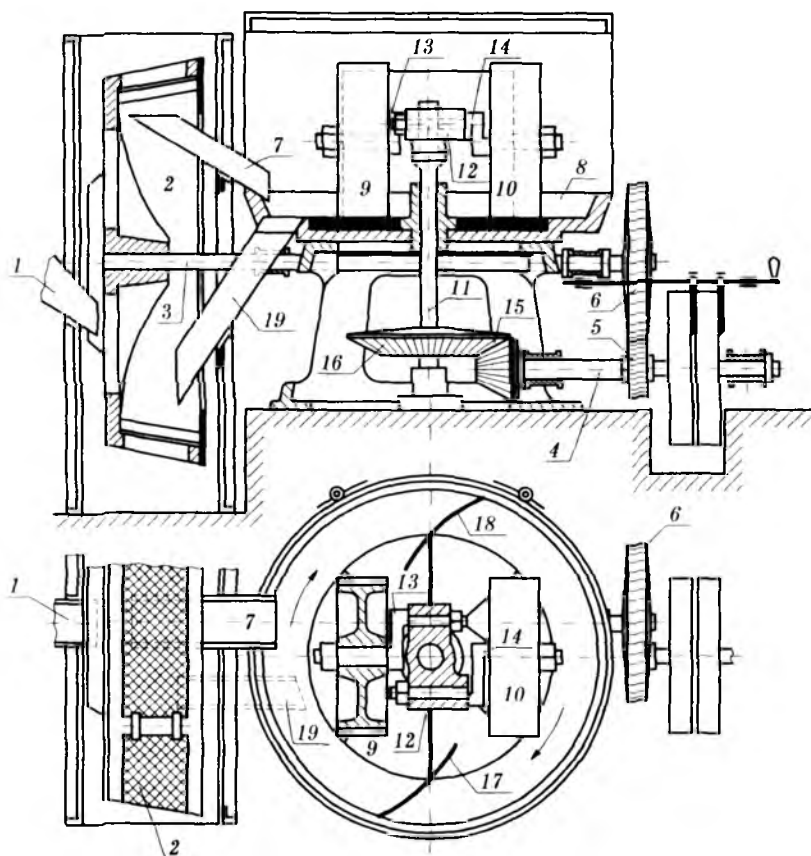


Рис. 1.6. Бегуны с вертикальными катками:

- 1 — загрузочный жёлоб; 2 — сито; 3 — горизонтальный вал;
 4 — ведущий вал; 5 и 6 — приводные шестерни; 7 — верхний жёлоб; 8 — чаша; 9 и 10 — вертикальные катки бегунов;
 11 — вертикальный вал; 12 — поперечина;
 13 и 14 — валки-кривошипы; 15 и 16 — конические шестерни;
 17 и 18 — скребки; 19 — нижний жёлоб

1.4. Способы изготовления литейных форм

1.4.1. Классификация способов изготовления литейных форм

Литейные формы изготавливают разными способами в зависимости от конструкции литейной формы, характера производства, состояния формовочной смеси и точности отливок.

Песчано-глинистые формы изготавливают ручным и машинным способом.

Ручной метод применяют при индивидуальном и мелко-серийном производстве для мелких, средних и частично крупных отливок.

Машинный метод применяют при массовом и крупносерийном производстве для мелких и средних отливок.

В зависимости от конструкции формы различают песчано-глинистые формы, вакуумно-плёночные песчаные формы, металлические формы — кокили, формы с выжигаемыми или выплавляемыми моделями с применением кварцевых огнеупорных материалов, формы с оболочками из термореактивных смесей, формы из самотвердеющих материалов или из отверждаемых различными способами.

В зависимости от кратности использования различают разовые, полупостоянные и постоянные формы.

Разовые формы служат однократно для получения только одной отливки. Такие формы изготавливаются из песчано-глинистой смеси или песка при вакуумно-плёночной формовке. Благодаря дешевизне, простоте и скорости изготовления песчано-глинистые формы являются самыми распространёнными в литейном производстве.

Полупостоянные формы применяются для изготовления средних и крупных отливок простой конфигурации: крупные плиты, изложницы, барабаны для текстильных и бу-

магоделательных машин и др. Изготавливаются они из высокоогнеупорной смеси, основным содержанием которой являются шамот, глина и кварцевый песок. Такие формы выдерживают от 30 до 50 заливок с небольшим промежуточным ремонтом после каждой заливки.

Постоянные формы применяются в серийном и массовом производствах и изготавливаются из чугуна или стали.

По влагосодержанию формовочной смеси формы делят на три группы:

- сырые с низковлажной смесью (до 2,8 % воды);
- сырые со средневлажной смесью (от 2,8 до 3,5 % воды);
- сырые с высоковлажной смесью (более 4,5 % воды).

1.4.2. Литейная технологическая оснастка

В комплект технологической оснастки для изготовления форм из формовочных смесей входят модели, модельные плиты, стержневые ящики, опоки, наборы формовочного инструмента и т.д.

Модель представляет собой изделие, воспроизводящее наружные очертания отливки, которое сначала устанавливают в форму, и после окончания изготовления формы, извлекают из неё для её подготовки к заливке расплавленным металлом. Размеры модели делают больше, чем у отливки, на величину линейной усадки сплава. Модели делают из твёрдых пород древесины, металлических сплавов и пластмасс.

Для машинной формовки широко применяют модельные комплекты, включающие металлические модельные плиты и быстросъёмную модельную оснастку — координатные плиты и плиты со сменными вкладышами разных конструкций.

В массовом производстве отливок используют модельные плиты, на которых закрепляют модели с одной (односторонние плиты) или с обеих сторон (двусторонние плиты) при изготовлении верхних и нижних полуформ.

Координатные подмодельные плиты применяют при частой смене моделей. Наличие отверстий в плите позволяет быстро и точно устанавливать модели в плоской системе координат.

Подмодельная плита со сменными вкладышами позволяет быстро произвести смену модели, которая крепится на вкладыше.

Стержневые ящики используют для изготовления стержней. По существу они представляют собой форму, в которую набивают стержневую смесь. Ящики бывают неразъёмные (вытряхные) и разъёмные. Для более быстрого извлечения стержня из ящика, в нём предусматриваются уклоны. Изготавливаются стержневые ящики из тех же материалов, что и модели.

Опоки представляют собой чаще всего коробчатые рамки, предназначенные для изготовления литейных полуформ из формовочных смесей. Опоки изготавливаются из серого чугуна, стали, алюминиевых сплавов. Они могут быть цельнолитыми, сварными или сборными из отдельных литых частей. Стенки опок делают с отверстиями для уменьшения их веса, удаления газов из формы при заливке и для лучшего сцепления формовочной земли с опокой. Для удержания уплотнённой формовочной смеси в опоке при переворачивании полуформ у опок делают внутренние рёбра. Соединяют опоки штырями и центрирующими отверстиями в проушинах. Скрепление формы осуществляют скобами или другими приспособлениями.

Наборы формовочного инструмента включают следующие изделия:

- пневматические и ручные трамбовки для уплотнения формовочной смеси;
- гладилки для заглаживания поверхностей форм;
- карасики для прорезания узких каналов (питателей) при формировании литниковой системы (литниковой чаши, вертикального канала подвода расплава — стояка, шлакоуловителей и питателей — разветвлённой

- сети каналов подвода расплава непосредственно к отливке);
- двухконечные ложечки для отделки вогнутых поверхностей и углублений;
- крючки для удаления комков смеси;
- извлекатели моделей с гладкими или винтовыми концами;
- душники — шилья для накалывания каналов, облегчающих выход газов через верхнюю полуформу и др.

1.4.3. Литниковые системы

Литейную форму заливают расплавом через литниковую систему. Она представляет собой совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из ковша в полость формы. Литниковая система должна обеспечивать непрерывное поступление расплава в форму, питание отливки для компенсации усадки, предотвращать её разрушение попадание шлака и воздуха со струей расплава.

Основными элементами литниковой системы является литниковая чаша 1, стояк 2, шлакоуловитель 3 и питатель 4 (рис. 1.7). На этом рисунке представлена бронзовая отливка вместе с затвердевшим металлом в литниковой системе. Чаша уменьшает размывающее действие струи, задерживает всплывающий шлак, обеспечивает равномерное поступление металла. Для лучшего задержания шлака в литниковой системе для чугунного литья выдерживают следующее соотношение площадей поперечного сечения стояка, шлакоуловителя и питателей: $F_{\text{ст}} > F_{\text{шл}} > F_{\text{пит}}$. Некоторые типы литниковых систем представлены на рисунке 1.8. Заливка металла может осуществляться сверху через верхнюю полуформу (рис. 1.8, а), снизу через сифонную литниковую систему (рис. 1.8, б), ярусную литниковую систему (рис. 1.8, в) или через вертикально-щелевую литниковую систему (рис. 1.8, г).

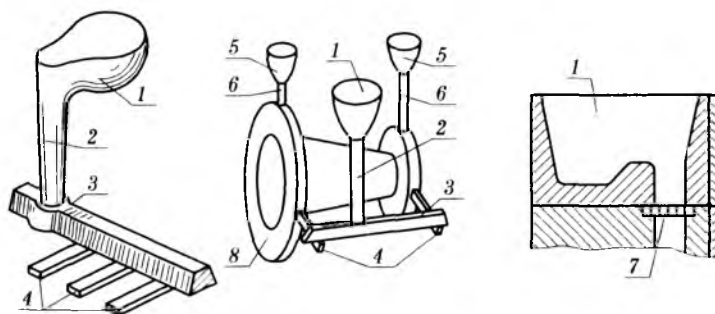


Рис. 1.7. Элементы литниковой системы:
 1 — литниковая чаша; 2 — стояк; 3 — шлакоуловитель;
 4 — питатели; 5 и 6 — чаша и стояк выпоров (прибылей);
 7 — фильтр из специальной стеклоткани; 8 — бронзовая отливка

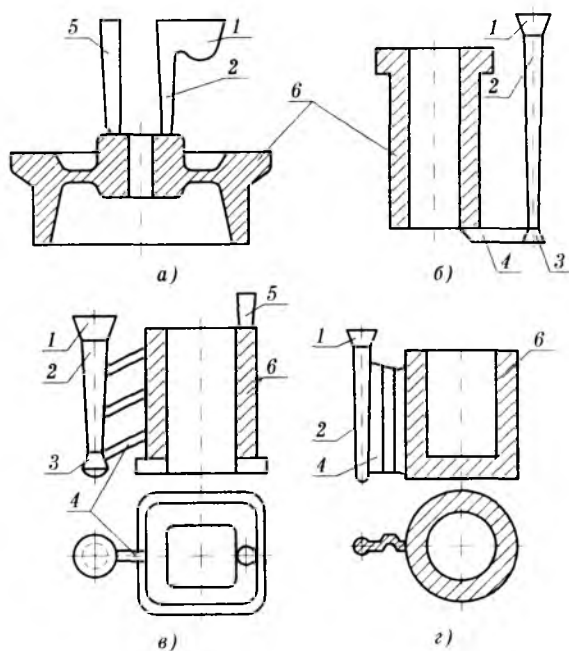


Рис. 1.8. Типы литниковых систем:
 а — верхняя; б — сифонная; в — ярусная; г — вертикально-щелевая;
 1 — чаша; 2 — стояк; 3 — литниковый ход;
 4 — питатель; 5 — выпор; 6 — отливка

Верхняя литниковая система наиболее проста. Её применяют для мелких деталей небольшой высоты. С увеличением высоты происходит размывание формы струёй металла, разбрызгивание и окисление его, увеличивается количество неметаллических включений в толще отливки.

Нижнюю (или сифонную) литниковую систему применяют для средних и толстостенных отливок значительной высоты. Она обеспечивает спокойное заполнение формы расплавом. Вместе с тем эта система более сложна.

Ярусная литниковая система обеспечивает последовательное питание отливки снизу вверх и её применяют для крупных отливок. Недостатки ярусной литниковой системы состоят в сложности её изготовления и в значительном расходе расплава. Её разновидность — вертикально-щелевая система предназначена главным образом для цветных металлов и сплавов.

1.4.4. Прибыли

Прибыль представляет собой искусственно созданный дополнительный объём металла, соединённый с отливкой и предназначенный для получения отливки без усадочных раковин и пористости, которые могут образовываться вследствие уменьшения объёма расплава при его затвердевании. Прибыли размещают у массивных частей отливки, где усадка проявляется наиболее значительно. Прибыли различают открытые, закрытые, действующие под давлением и легкоотделяемые прибыли.

Открытые прибыли прямого питания применяют для крупных стальных отливок, периодически проводя доливку по мере снижения в ней уровня металла. Такая прибыль служит также выпором, в неё могут всплывать частицы формовочной смеси и другие загрязнения. Закрытые прибыли предусмотрены в виде объёма металла, выступающего за пределы отливки, но закрыты формовочной смесью. Атмосферное давление в закрытой прибыли создают, уста-

навливая в полость прибыли специальные газопроницаемые стержни из песчано-масляных смесей.

Для создания прибыли под давлением газов в её полость до заливки металла устанавливают специальный патрон с веществом, выделяющим газ (мел с добавками кокса). Патрон срабатывает после образования на поверхности прибыли тонкой твёрдой корочки металла. Выделяющиеся газы создают давление, вытесняя жидкий металл прибыли в тело отливки. Легкоотделяемые прибыли делают с сужением у основания. Для получения сужения применяют пластины-стержни, диафрагмы-стержни, изготавливаемые из шамотно-глинистых смесей.

1.4.5. Ручная формовка

Доля ручной формовки составляет менее 8 % от массы отливок и постоянно сокращается, так как машинная формовка в настоящее время является основным способом получения отливок в литейном производстве. Ручная формовка является трудоёмкой работой и имеет низкую производительность. Этот способ формовки ещё находит некоторое применение для получения мелких и средних отдельных отливок. Вместе с тем, большое значение имеет ручная формовка в производстве крупных отливок, формы для которых трудно или невозможно изготовить методами машинной формовки.

Формовка в двух опоках по разъёмной модели является наиболее распространённым способом ручной формовки в производстве мелких и средних отливок. В процессе изготовления формы имеется стадия извлечения модели, которая после формовки находится в толще формовочной смеси. Чтобы модель извлечь, форму делают из двух полуформ с использованием двух опок, т.е. форма имеет плоскую поверхность раздела. Эту плоскость раздела специально посыпают порошковым графитом для того, чтобы в завершающей стадии формовки две полуформы не слипались. Для

того, чтобы иметь возможность извлечь модель из полуформ, её делают разъёмной (рис. 1.9). Разъём совпадает с поверхностью раздела полуформ. После разделения формы на две половины, части модели извлекают из каждой полуформы отдельно, а в полуформы устанавливают стержни и вновь соединяют с образованием полости для заполнения жидким расплавом. На рисунке 1.9 показаны отливка 1, модель 2 со знаками 3 и стержень 4 со знаками 5. Знаки — это выступающие части модели, с помощью которых создаётся место для установки стержня.

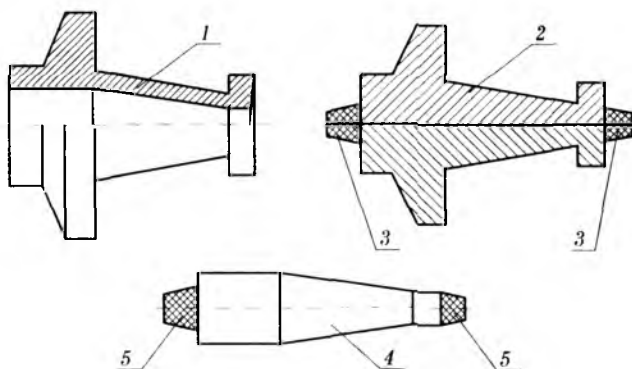


Рис. 1.9. Схемы отливки, модели и стержня:
 1 — пустотелая отливка; 2 — модель отливки;
 3 — знаки модели; 4 — стержень; 5 — знаки стержня

Последовательность отдельных этапов ручной формовки представлена на рисунке 1.10. На подмодельную плиту 1 устанавливают половину разъёмной модели 4, а также нижнюю металлическую опоку 2. Поверхности модели и плиты в пределах опоки посыпают сухим разделительным песком. Затем в опоку насыпается и уплотняется формовочная смесь. Полученную нижнюю полуформу 3 поворачивают на 180° и вновь устанавливают на подмодельную плиту (рис. 1.10, а). Верхняя половина модели 8 устанавливается на нижнюю так, чтобы направляющие шипы на ней вошли в отверстия нижней половины модели, а верхняя опока 6 — на

нижнюю опоку. Совмещение опок достигается установкой центрирующих штырей 5. Поверхность модели и формовочную смесь в плоскости разъёма полуформ посыпают разделительным песком. Затем после установки моделей выпора 9 и литниковой системы 12 в верхнюю опоку засыпается и уплотняется формовочная смесь. После извлечения моделей выпора и литниковой системы (лёгким покачиванием и постукиванием по ним), а также центровочных штырей верхнюю полуформу 7 снимают, поворачивают на 180° и устанавливают на ровную поверхность или плиту.

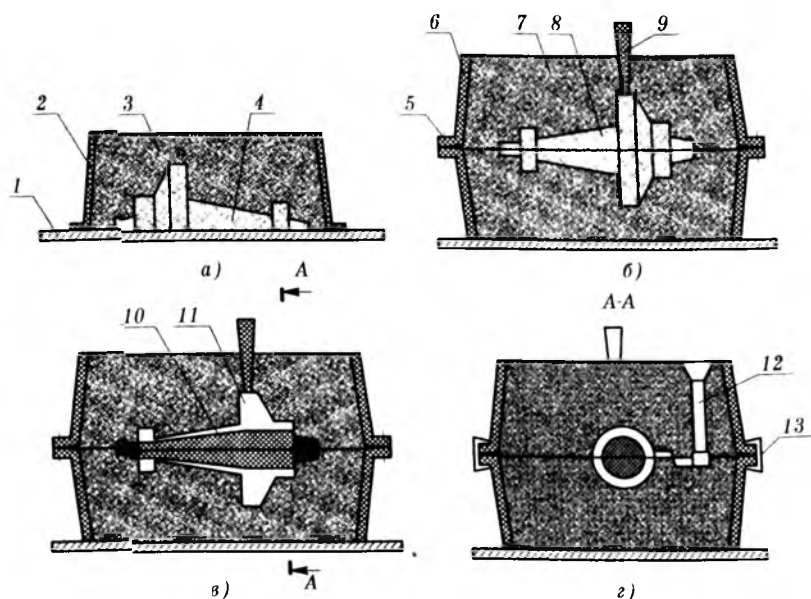


Рис. 1.10. Схема изготовления литейной формы по разъёмной модели:

- а** — формовка нижней опоки; **б** — формовка верхней опоки;
- в** — установка стержня; **г** — готовая форма в разрезе;
- 1** — подмодельная плита; **2** — опока нижняя; **3** — нижняя полуформа;
- 4** — половина разъёмной модели; **5** — центрирующие штыри; **6** — верхняя опока; **7** — верхняя полуформа;
- 8** — верхняя половина разъёмной модели; **9** — модель выпора;
- 10** — установленный стержень; **11** — полость для заливки металла; **12** — литниковая система; **13** — скрепы

Нижняя и верхняя половины моделей извлекаются из полуформ. Наконец собирают форму. В нижнюю полуформу устанавливается стержень 10 стержневыми знаками 5 (рис. 1.9) в гнезда формы. Затем с помощью центрирующих штырей и скрепов 13 фиксируют взаимное положение полуформ. Это исключает подъём верхней полуформы металлом, залитым в полость 2 формы. После затвердения металла форму разрушают.

1.4.6. Машинная формовка

В массовом и серийном производствах литейные формы изготавливают на машинах, что способствует большему уплотнению в сравнении с ручной формовкой, повышению качества форм и производительности труда. Машинная формовка характеризуется той же последовательностью операций по изготовлению литейных форм, что и при ручной формовке. Но методы уплотнения форм с помощью машин различные.

При наиболее распространённом верхнем прессовании (рис. 1.11, а) на столе прессовой машины 1 устанавливается подмодельная плита с закреплённой на ней моделью 2. На плите с помощью штырей фиксируется опока 3 (высотой 200...250 мм), на которую сверху накладывается наполнительная рамка 4. Рамку и опоку заполняют рыхлой смесью, затем стол машины поднимают вверх и в наполнительную рамку входит прессовая накладка 6, закреплённая на траверсе пресса 5. Уплотнение встряхиванием проводят на машинах, работающих по принципу поршня и цилиндра (рис. 1.11, б). В станину 1 машины вмонтирован встряхивающий поршень 2, на верхнем торце которого крепится стол 3, а на нём подмодельная плита и модель 4. Энергоносителем служит сжатый воздух, который поднимает поршень, стол, модель и опоку 5 на высоту 25...100 мм. После этого происходит выхлоп. Стол, имеющий значительную массу, падает вниз и ударяется о станину (цикл повторяет-

ся 10...80 раз). Так осуществляется уплотнение рыхлой формовочной смеси. Наибольшее уплотнение отмечается у модели, а сверху опоки (высотой до 800 мм) уплотнение проводят либо вручную, либо подпрессовкой.

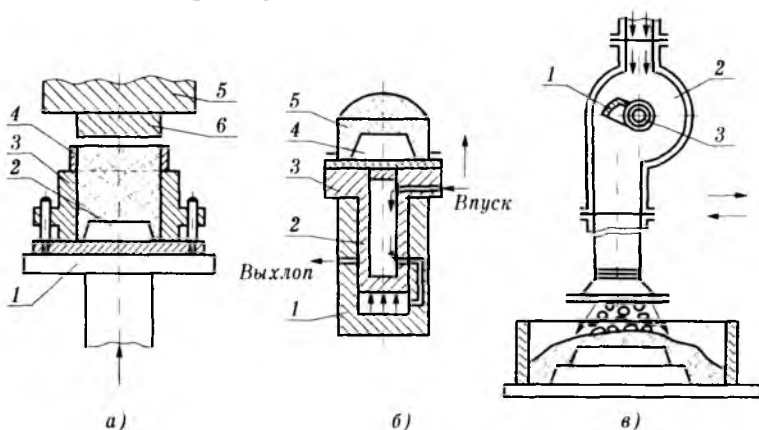


Рис. 1.11. Схемы уплотнения литейных форм при машинной формовке:

а — верхнее прессование; б — уплотнение встряхиванием; в — уплотнение пескомётом

Уплотнение пескомётом (рис. 1.11, в) используется при изготовлении значительных по размерам литейных форм. Основной узел пескомёта — метательная головка 2, в которой вращающийся ковш 1 закрепляется на роторе 3 электродвигателя. В головку формовочная смесь подаётся транспортером. Предварительно уплотнённая в ковше смесь подаётся в опоку со скоростью 2...20 м/с, что приводит к хорошему уплотнению нижележащих слоёв смеси.

Формовочные машины снабжены устройствами для извлечения моделей из форм.

Технология изготовления стержней вручную или на машинах состоит из следующих основных операций: формовка сырого стержня, сушка, отделка и окраска стержня. Для изготовления стержней применяют как обычные формовочные (прессовые, встряхивающие, пескомёты и др.), так и

специальные стержневые (пескодувные, пескострельные и др.) машины. В высокопроизводительных стержневых машинах получают стержни массой от 1 до 700 кг. Уплотнение стержневой смеси достигается за счёт подачи её в стержневой ящик с помощью сжатого воздуха со скоростью до 15 м/с. Далее в специальных сушилках периодического или непрерывного действия стержни сушат, после чего они приобретают необходимые прочность и газопроницаемость. До сушки или после неё стержни окрашивают огнеупорными противопопригарными красками. Высушенные стержни подвергают окончательной отделке (зачистке заусенцев, снятию неровностей, замазке мелких дефектов и т.п.).

Сборка форм, изготовленных на машинах, является одной из ответственных операций получения отливок. Поэтому на этой стадии с помощью шаблонов проверяют качество поверхности и размеры формы, размеры стержней, закрепление стержней в гнездах, точность размеров основных полостей формы. Форму продувают сжатым воздухом. Затем форму собирают и скрепляют опоки.

После заливки металла в форму, его затвердевания и охлаждения (от 5 мин до нескольких суток в зависимости от массы отливки) производят выбивку и очистку отливки. Выбивка отливок является трудоёмкой операцией, осложняемой выделением большого количества теплоты, газов и пыли. Поэтому её механизмируют, а участок выбивки отливок изолируют. Выбивку производят на специальных выбивных решётках с механическим или пневматическим приводом. Стержни из отливок удаляют с помощью пневматических молотков, вибраторов, вибрационных машин и специальных гидравлических установок. Выбивку стержней также осуществляют с помощью гидравлического удара, возникающего при электрическом разряде в воде. Окончательно очищают уже выбитые отливки от пригорелой земли во вращающихся барабанах, дробеструйных и дробеметных агрегатах, химической или электрохимической обработками и другими способами.

При отделке отливок удаляют литники, прибыли, выпоры, заливы (облой по месту соединения полуформ) пневматическими зубилами, ленточными и дисковыми пилами, газовой резкой, на прессах, на металлорежущих станках и другими способами. Также может проводиться выравнивание поверхности отливки, удаление заусенцев и т.п. Точность размеров отливки составляет 14...17 квалитеты, а шероховатость может достигать величин $Ra = 100...2,5$ мкм в зависимости от способа изготовления отливок.

1.4.7. Получение отливок в вакуумно-плёночных формах

Данный способ находит широкое применение в единичном и мелкосерийном производствах для изготовления отливок штамповой и литейной оснасток. Например, отливают штампы, пресс-формы, кокили, стержневые ящики, драйеры (сушильные плиты), решётки и т.д. Модели в этом методе должны быть газопроницаемы. Для этого они могут быть изготовлены из газопроницаемого материала: пенополистирола, пенобетона, гипса, алебаstra. В моделях из газонепроницаемого материала должны быть предусмотрены сквозные отверстия диаметром 0,6...1,5 мм, распределённые по всей поверхности. Способ позволяет получить форму из двух полуформ, полностью изготовленных методом вакуумно-плёночной формовки. Нижнюю полуформу, полученную вакуумно-плёночным методом, можно совмещать с верхней полуформой, изготовленной с помощью обычной формовки из песчано-глинистых смесей. Рассматриваемый метод предусматривает применение пустотелой подмодельной плиты с перфорированной стороной, на которую устанавливается модель, и опоки с пустотелыми боковыми стенками, внутренняя сторона которых, контактируемая с формовочной смесью, также перфорирована. В процессе изготовления формы из пустотелой плиты и пустотелых стенок опоки откачивается воздух, создавая в них разрежение. Это

разрежение используется для обтягивания жаропрочной полиэтиленовой плёнки модели и для удержания в опоке сухого кварцевого песка, создающего полость в соответствии с конфигурацией модели. Последовательность изготовления вакуумно-песчаной формы следующая.

Пустотелую подмодельную плиту 1 (рис. 1.12) с отверстиями (перфорацией) 6 устанавливают на вибростол 7, а на плиту ставится модель 4 с отверстиями 5.

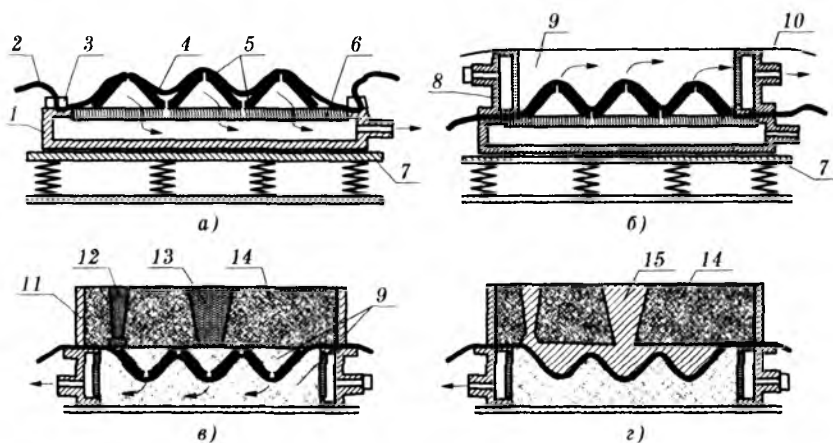


Рис. 1.12. Изготовление литейной формы методом вакуумно-плёночной формовки:

***а* — наложение плёнки; *б* — изготовление нижней вакуумной полуформы; *в* — изготовление верхней полуформы;**

***г* — форма с залитым металлом;**

1 — подмодельная вакуумная плита; 2 — плёнка жаропрочная;

3 — рамка с плёнкой; 4 — модель; 5 — отверстия (перфорация);

6 — отверстия в подмодельной плите; 7 — вибростол;

8 — опока нижняя вакуумная; 9 — песок сухой;

10 — плёнка накрывная; 11 — опока верхняя; 12 — выпор;

13 — прибыль; 14 — формовочная смесь;

15 — металл в форме (отливка с выпором и прибылью)

Затем на модель опускают разогретую до 80...100 °С плёнку 2 в рамке 3 так, что рамка касаясь плиты по всему периметру, образует замкнутое пространство под плёнкой.

Далее включают вакуумный насос и откачивают воздух из плиты. Разогретая до пластичного состояния плёнка обтягивает модель, повторяя поверхностный рельеф модели. Откачка воздуха продолжается непрерывно, так как всегда из-за неровностей поверхности имеет место подсос воздуха. Затем на подмодельную плиту с моделью, обтянутой плёнкой, устанавливают опоку 8 с пустотелыми стенками. Внутрь опоки на плёнку при вибрации стола 7 засыпается сухой песок 9 и включается откачка воздуха из опоки с песком. Песок уплотняется, его излишки, выступающие из опоки, удаляются линейкой и полуформу накрывают плёнкой 10. Плёнка, под действием разрежения в опоке, плотно прилегает к формовочному песку и исключает его высыпание из опоки при переворачивании полуформы на 180°. Модель извлекается, а её отпечаток остаётся, так как плёнка удерживается вакуумом. После этого собранная полуформа должна соединяться с верхней вакуумно-плёночной полуформой, которая может собираться одновременно с первой. Если верхняя полуформа изготавливается из песчано-глинистой формовочной смеси, то она изготавливается после установки обычной опоки 11 на нижнюю (перевернутую на 180°) вакуумную полуформу. Заполняют полость в модели сухим песком до верхнего обреза нижней полуформы и полученную ровную поверхность накрывают плёнкой или пластиной. Затем в опоке размещают модели элементов литниковой системы (выпоров 12, прибылей 13, стояков и др.), пространство в опоке заполняют формовочной смесью 14 и утрамбовывают. После чего извлекают модели литниковой системы, снимают верхнюю полуформу, извлекают модель отливки с песком (плёнка остаётся), вновь собирают форму и заливают расплавленным металлом. Вакуумирование нижней полуформы прекращается после кристаллизации отливки 15. Затем полуформы раскрываются, и песок свободно высыпается, освобождая отливку. Отливка получается с поверхностью высокого качества и малой шероховатостью за счёт того, что расплавленный металл кристаллизуется в

полости, облицованной жаропрочной полиэтиленовой плёнкой толщиной 0,1 мм. Рассмотренный способ не требует выбивки форм и очистки отливок. Песок вновь используется для формовки. Если отливку изготавливают в полностью вакуумируемой форме, то отпадает необходимость готовить формовочные смеси.

1.5. Групповая технология формовки и использование для получения отливок гибких технологических модулей. Механизация и автоматизация процессов получения отливок

Групповая технология формовки предусматривает широкое использование унифицированной литейной оснастки. Унифицированная литейная оснастка состоит из неформообразующих стандартных частей — опок, подмодельных плит, сушильных плит, корпусов стержневых ящиков и т.д., а формообразующие элементы оснастки — модели рабочие части ящиков в виде вкладышей делаются под конкретную отливку и являются быстросменными. Групповая технология требует тщательного группирования отливок на основе их конструктивно-технологической общности (размеры, масса, конфигурация) и экономически целесообразна в условиях серийного и мелкосерийного производства. При этом сокращаются сроки подготовки производства, снижается себестоимость литья, обеспечивается возможность высокой механизации и автоматизации производства.

Конструкция подмодельных плит и корпусов стержневых ящиков такова, что позволяет быстро сменить модели или отдельные их части, элементы литниковой системы и внутренние формообразующие вкладыши стержневых ящиков (рис. 1.13, а, б). Легкосъёмные модели, их отдельные части и вкладыши стержневых ящиков могут быть деревянными, пластмассовыми или металлическими.

Подмодельные (координатные) плиты (рис. 1.13, а) делают с сеткой отверстий, просверлённых по точным коор-

динатным кондукторам. По такому же кондуктору получают отверстия в полумоделях и элементах литниковой системы. В отверстия полумоделей и элементов литниковых систем вставляют шипы, которые входят в отверстия подмодельных плит. Для предотвращения сдвига полумоделей их крепят к плите всего лишь одним винтом или шурупом.

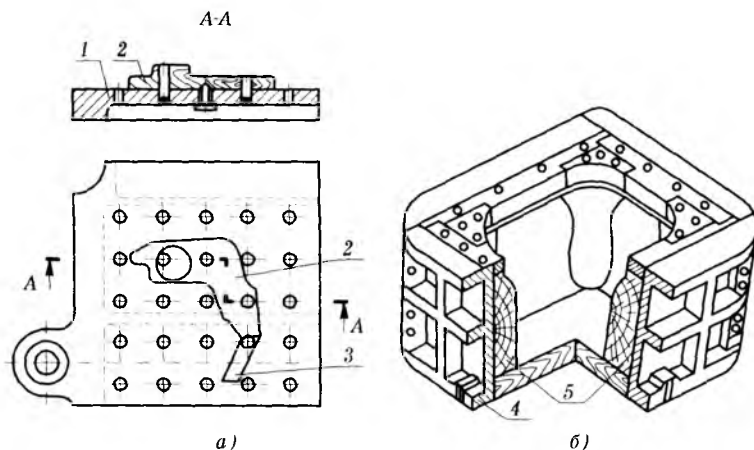


Рис. 1.13. Быстropереналаживаемые подмодельные координатные плиты (а) и стержневые ящики (б) со сменными вкладышами:

- 1 — подмодельная плита с сеткой отверстий;**
2 — модель с шипами; 3 — элемент литниковой системы;
4 — корпус ящика; 5 — сменные вкладыши

Кроме координатных плит используют плиты с пазами, в которые вставляют вкладыши и удерживают прижимами, а к вкладышам крепят полумodelи и литниковую систему. На одном вкладыше может крепиться несколько моделей.

Быстрая переналадка стержневых ящиков (рис. 1.13, б) заключается в том, что в его корпус 4 вкладывают формообразующие элементы 5, которые удерживаются в корпусе ящика фиксаторами или прижимами.

Гибкие технологические модули применяют для изготовления песчаных литейных форм с целью автоматизированного производства широкой номенклатуры отливок. Основными узлами гибких модулей являются базовая формо-

вочная машина, которая может переналаживаться на разные способы уплотнения литейных форм (пескодувно-прессовый, встряхивание с прессованием, импульсный, широкозахватный пескомётной головкой); участок сборки и выдачи готовых форм; участок выбивки; участок транспортирования пустых опок к формовочной машине. Агрегатирование формовочной линии на базе отдельных самостоятельных технологических узлов, участков и механизмов, связанных между собой системой управления, позволяет быстро комплектовать и собирать формовочную линию под разнообразную номенклатуру отливок.

Система управления выполняется на основе микровычислительного комплекса с использованием ЭВМ, позволяющим кроме управления оборудованием оперативно решать задачи организации работы. Агрегатирование формовочных линий позволяет автоматизировать трудоёмкие процессы изготовления литейных форм и создавать гибкие производства с использованием роботов и манипуляторов на базе стандартного оборудования.

Под **механизацией** технологических процессов обычно понимают замену человеческого труда работой машин. Создание специальных механизмов и приспособлений, основное назначение которых — замена вспомогательных ручных действий рабочих, позволяет повысить производительность труда. Кроме того, значительно расширяются *возможности многостаночного обслуживания и облегчаются условия работы.*

Под **автоматизацией** технологических процессов понимают механизацию обслуживания и управления машинами, их системами и процессами в целом. Одновременно широко развивается автоматизация отдельных механизмов технологического оборудования.

Основным направлением работ в области механизации и автоматизации является переход к комплексной автоматизации, к созданию полностью автоматизированных участков, цехов и заводов.

Экономическая эффективность механизации и автоматизации технологических процессов определяется следующими показателями: повышением производительности труда, снижением себестоимости выпускаемой продукции, облегчением условий труда, оптимальным сроком окупаемости и другими не только в условиях массового и крупносерийного, но и серийного и мелкосерийного производств.

В настоящее время в отечественном машиностроении работает большое количество автоматических линий (более пяти тысяч).

Автоматической линией (АЛ) называют автоматически действующую совокупность технологического оборудования, установленного в последовательности технологического процесса обработки детали, соединённого автоматическим транспортом и оснащённого автоматическими загрузочно-разгрузочными устройствами и одной или несколькими взаимосвязанными системами управления.

Однако общим недостатком считают узкую ориентацию АЛ на изготовление определённого вида изделий. Поэтому их используют в основном в условиях массового или крупносерийного производств, которые в общем объёме занимают сравнительно малую долю (около 20 %).

При литье в песчаные формы широко используются литейные конвейеры, на которых осуществлена полная механизация процесса формовки. На конвейере нижняя и верхняя полуформы изготавливаются на формовочных машинах, а на автоматических формовочных линиях полуформы изготавливаются на формовочных автоматах. Эти линии обеспечивают полную автоматизацию производственного процесса формовки.

Автоматизированная линия для производства оболочковых форм из сухих твердеющих смесей в условиях массового и крупносерийного производства показана на рисунке 1.14. Основой линии служат машина 12 для изготовления оболочковых полуформ и установка 7 для сборки и склеивания форм. Полуформы с модельной плиты машины снимаются автооператором 11, представляющим собой не-

перепрограммируемый манипулятор. Стержни устанавливаются оператором 8 (поэтому линия называется автоматизированной) при перемещении полуформ от машины к установке на штанговом транспортёре. Готовые формы (35 штук в час) подаются на стол 6.

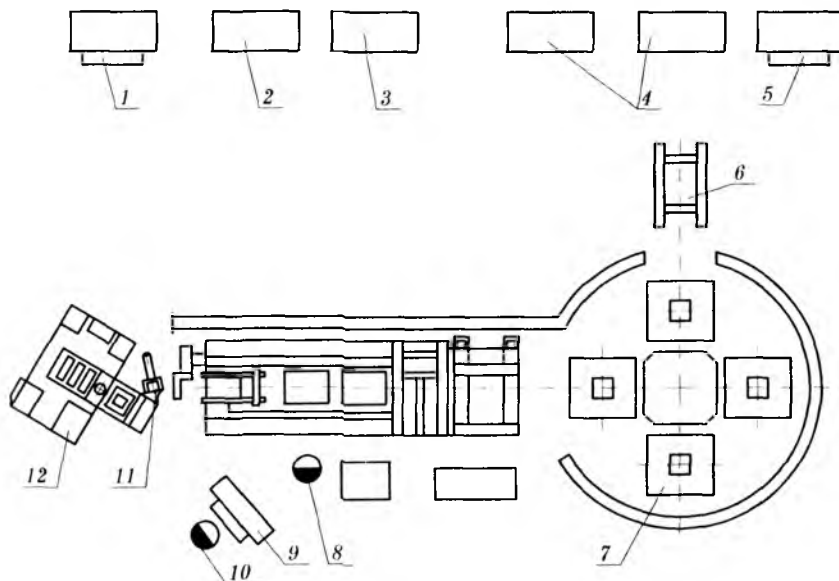


Рис. 1.14. Схема автоматизированной линии по изготовлению оболочковых форм:

- 1 — гидроагрегат; 2, 3, 4 — электрооборудование;
 5 — гидроагрегат; 6 — стол; 7 — установка для сборки и склеивания форм; 8 — оператор на установке стержней в форму;
 9 — пульт управления; 10 — оператор пульта управления;
 11 — автооператор съёма полуформ; 12 — машина для изготовления оболочек полуформ

При производстве отливок по выплавляемым моделям в условиях серийного производства стремятся автоматизировать отдельные операции технологического процесса. Для массового производства создаются автоматические линии, позволяющие провести комплексную автоматизацию про-

изводства отливок. Примером такого производства, например, является цех точного литья на Нижегородском автомобильном заводе.

В кокильном литье проводят работы по механизации процесса. В этом случае основные операции выполняются механизмами кокильной машины или литейного комплекса, управляет которыми оператор. В зависимости от объема производства осуществляется и автоматизация процесса. При этом управление механизмами предусматривается системой управления литейной машиной или комплексом, связанным с управляющей ЭВМ.

В массовом и крупносерийном производствах организуются поточные линии для литья в кокиль при производстве отливок широкой номенклатуры, кокильные конвейеры для однотипных отливок и автоматизированные линии для изготовления одной или однотипных отливок.

Применительно к литью под давлением рассматривают два направления автоматизации технологического процесса: манипуляторных и транспортных операций, а также управления качеством отливок посредством регулирования его параметров.

На базе машин для литья под давлением создаются автоматические линии. Схема такой линии показана на рисунке 1.15. Так, в состав одной из таких линий входит серийно выпускаемая машина для литья под давлением 9 с горизонтальной холодной камерой прессования и средства автоматизации внемашинных операций, работающие согласованно с машиной.

Последовательность операций задаётся набором программы на пульте управления 10. При этом осуществляется дозированная подача расплавленного металла в пресс-камеру машины манипулятором для заливки металла 7. Смазывается пресс-форма распылением смазочного состава из форсунок 8, установленных на подвижной и неподвижной плитах машины. Манипулятор передачи отливок 2 является многоцелевым. Он снимает готовую отливку с машины, ори-

ентирует и переносит её к специальному устройству для контроля на полноту извлечения. После этого охлаждает отливку путём окунания в бак 3 и устанавливает её в штамп обрубного пресса 4 для обрезки литников и облоя.

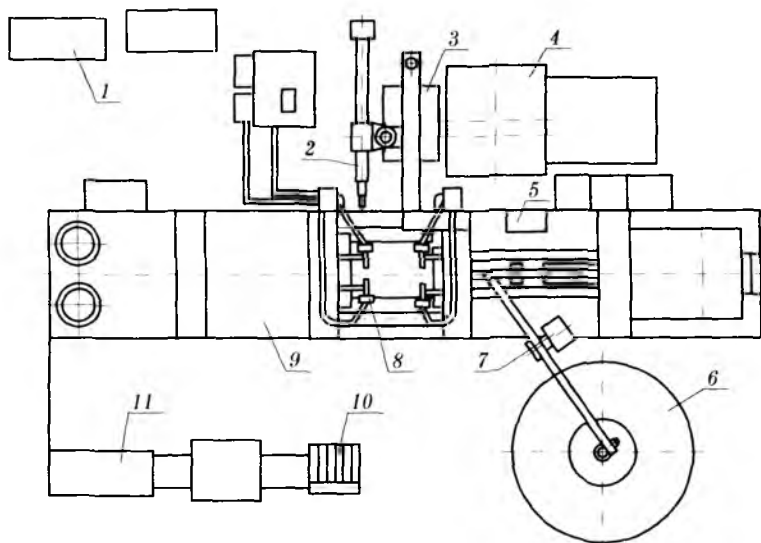


Рис. 1.15. Схема автоматической линии изготовления отливок литьём под давлением (вид сверху):

- 1 — электрошкаф; 2 — манипулятор передачи отливок;**
- 3 — охлаждающий бак; 4 — обрубной пресс;**
- 5 — устройство для смазки камеры прессования;**
- 6 — электропечь; 7 — манипулятор заливки металла;**
- 8 — форсунки для распыления смазки; 9 — машина**
- для литья под давлением; 10 — пульт управления;**
- 11 — электрошкаф пульта управления**

Кроме того, на схеме: 1, 11 — электрошкафы; 5 — устройство для смазки камеры прессования; 6 — электропечь. Такая компоновка линии позволяет осуществить комплексную автоматизацию, вследствие чего один оператор одновременно может обслуживать несколько линий.

В линии вместо манипуляторов могут быть установлены промышленные роботы (ПР). Промышленным роботом

называется автоматическая машина (стационарная или передвижная), состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций. Установка ПР приводит к возможности переналадки линий, так как даже массовое производство в условиях научно-технической революции нуждается в сравнительно частых изменениях структуры линий, заменах оборудования и средств автоматизации.

1.6. Выбивка, очистка, обрубка и зачистка отливок

1.6.1. Выбивка отливок из форм и стержней из отливок

После охлаждения до требуемой температуры (мелкие отливки до 700...800 °С, средние — до 400...500 °С) разовую литейную форму разрушают, выбивая из неё отливку. Выбивку отливок из мелких и средних форм осуществляют на вибрационных решётках. В установке, показанной на рисунке 1.16, при движении на конвейере 1 тележка 2 нажимает кнопку электроконтакта 3 толкателя 4, который сталкивает форму на стол 5. Толкатель 6 подаёт форму на выбивную вибрационную решётку 7. С помощью ленточных транспортёров (на схеме не показаны) выбитую формовочную смесь направляют к месту переработки, отливки — на обрубку и очистку. Пустые опоки толкатель 8 подаёт до упора 9 на конвейер, который транспортирует их к формовочным машинам. Управление установкой осуществляет оператор с пульта 10.

Стержни из крупных отливок удаляют в гидравлических камерах струёй воды диаметром 5...15 мм под давлением до 100 атм. Одновременно происходит и очистка поверхности отливок от частиц приставшей формовочной смеси.

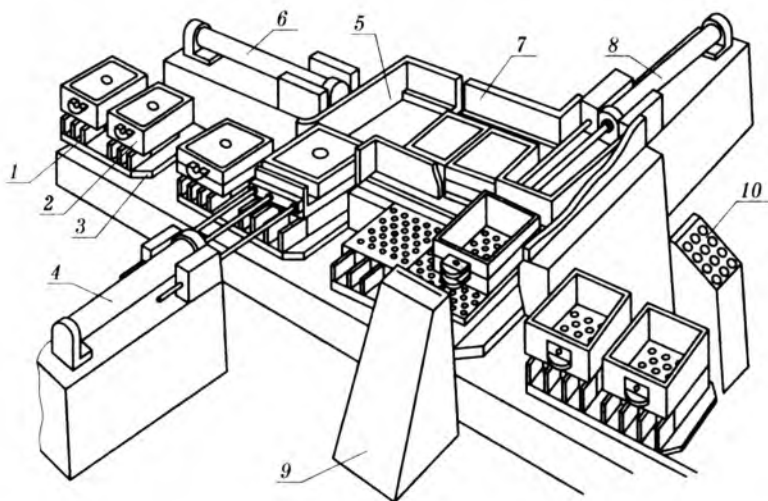


Рис. 1.16. Установка для выбивки опок:

- 1 — конвейер; 2 — тележка; 3 — кнопка электроконтакта;
4 — толкатель; 5 — стол; 6 — толкатель;
7 — выбивная вибрационная решётка; 8 — толкатель;
9 — упор для формы; 10 — пульт управления**

Литниковые системы у мелких и средних чугунных отливок отбиваются кувалдой при операции выбивки; у крупных эта операция производится после предварительной подрубki литника пневматическим зубилом.

Для удаления литников у отливок из легированной стали применяются дисковые пилы, а у алюминиевых отливок — ленточные пилы. В отливках из углеродистой стали литниковая система удаляется ацетиленокислородной резкой.

1.6.2. Очистка и обрубка отливок

Очистка наружной поверхности отливок от пригоревшей смеси производится в простых и дробеметных барабанах, дробеметных камерах периодического и непрерывного действия.

Очистке в простых барабанах подвергаются небольшие отливки весом до 50 кг. Очистка литья в простых барабанах является дешёвым и производительным способом очистки мелких отливок. Он широко распространён в литейных цехах.

Стальные отливки очищаются в барабанах дважды — до и после тепловой обработки (для удаления окалины). При вращении барабана отливки трутся между собой и подвергаются сотрясениям при переворачивании, благодаря чему от них отделяется приставшая формочная смесь и частично высыпаются разрушенные стержни. Для ускорения и улучшения очистки в барабан добавляют звёздочки, отливаемые из белого чугуна.

Схема устройства очистного (галтовочного) барабана круглого сечения приведена на рисунке 1.17, а. Отливки загружаются через люк во внутреннюю полость барабана 1, отделённую от полых цапф 2 и 5 решётками 3 и 4, которые предохраняют цапфы от попадания в них мелких отливок и звёздочек. Цапфы вращаются в подшипниках, смазка которых производится через маслёнки. Отсос пыли происходит через одну из цапф. Длину люка рекомендуется делать равной длине барабана, что ускоряет загрузку и выгрузку отливок.

Очистка отливок в дробеметных барабанах представляет собой более совершенный способ, чем в простых барабанах. Рабочим органом любой дробеметной установки является дробеметная турбинка. Дробеметные барабаны применяются для очистки небольших отливок весом до 20 кг (рис. 1.17, б). Барабан имеет неподвижные торцевые стенки 4 и неподвижную при работе барабана крышку 3. Дно барабана образовано пластинчатой лентой 5, на которую загружают отливки ковшевым элеватором 6. При движении ленты снизу вверх отливки перекатываются, подвергаются действию струи металлической дроби, выбрасываемой дробеметной турбинкой 2 со скоростью 60...70 м/сек. После очистки отливки крышку 3 открывают, ленту направляют в обратную сторону (сверху вниз), и отливки автоматически выбрасываются в ящик.

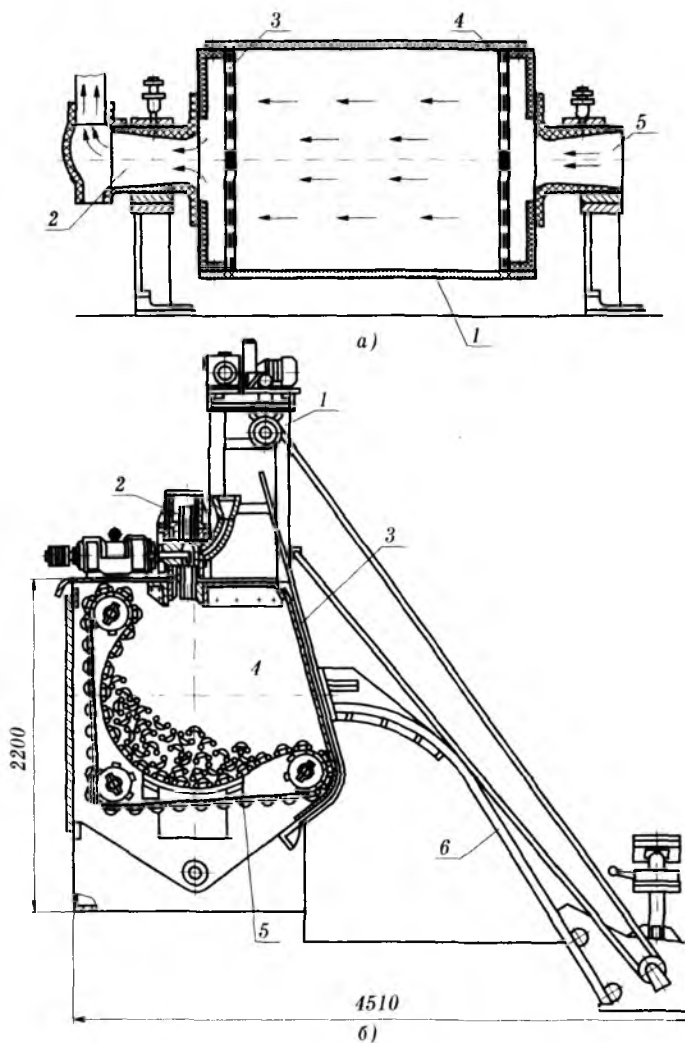


Рис. 1.17. Схемы очистного (галтовочного) и дробе­мётного барабанов:
а — очистной (галтовочный) барабан: 1 — барабан;
 2, 5 — полые цапфы; 3, 4 — решётки;
б — дробе­мётный барабан: 1 — элеватор;
 2 — дробе­мётная турбинка; 3 — крышка; 4 — торцевые
 крышки; 5 — пластинчатая лента; 6 — ковшевой элеватор

Дробь после очистки от пыли подают элеватором 1 в воронку дробеметной турбинки для вторичного использования. Очистка поверхностей отливок от пригоревшей к ним формовочной смеси в барабане продолжается 15...20 мин. Для очистки отливок сложной конфигурации применяются дробеметные столы, а для очистки средних и крупных отливок — дробемётные камеры. Очистка отливок от пригара производится также физико-химическими и физико-механическими методами: электрохимической, электрогидравлической и ультразвуковой очисткой.

Электрохимическая очистка отливок ведётся в расплаве щелочей: смеси гидратов окиси натрия 70...80 % и гидрата окиси калия 20...30 % при пропускании через расплав постоянного электрического тока напряжением 2,5...6 В и плотностью $(5...10) \cdot 10^4$ А/м² при температуре 350...450 °С. Метод электрохимической очистки основан на растворении пригара и восстановлении окалины в щелочном расплаве при прохождении постоянного тока. В процессе очистки полярность тока через каждые 5 мин меняется. Когда отливка является катодом (отрицательная полярность), на её поверхности происходят восстановление оксидов железа (окалины) и отделение песка. При переключении полярности тока, когда отливка становится анодом, на её поверхности происходит окисление различных загрязнений.

Очистная щелочная ванна изготовлена из конструкционной углеродистой стали и помещена в нагревательную электропечь сопротивления. К стенкам ванны подведён один из полюсов источника постоянного тока, а второй полюс — к штангам, на которых подвешены очищаемые отливки. Штанги электроизолированы от ванны. Процесс очистки длится 15-35 мин. После очистки отливки энергично и быстро промываются в баке с проточной водой для того, чтобы удалить щёлочь. Ответственные отливки сложной конфигурации и с внутренними полостями сложной формы, работающие в гидросистемах, а также отливки, полученные методом точного литья, преимущественно очищаются в щелочных ваннах.

Технологический процесс электрохимической очистки обеспечивает возможность одновременной очистки наружных и внутренних поверхностей, полное удаление пригара, окалины и кремнезёма с поверхности отливок, значительное улучшение санитарно-гигиенических условий труда.

Электрогидравлическую очистку применяют для отливок со сложными внутренними полостями (типа головки блоков цилиндров), изготавливаемых из чугуна, стали и цветных сплавов. Этот метод очистки по своим технологическим возможностям превосходит все существующие промышленные методы, обеспечивает высокие технико-экономические показатели при улучшении условий труда на очистных участках литейных цехов.

Принцип действия электрогидравлических установок заключается в использовании электрогидравлического эффекта, возникающего при высоковольтном разряде в воде между специальным электродом и поверхностью отливки. Обработка отливок ведётся в контейнерах в трёхступенчатом режиме: загрузка отливок — обработка в ванне — выгрузка отливок. Электрогидравлическая установка может работать в автоматическом режиме и по программе ручного управления всеми операциями с пульта. Шлам в очистной ванне накапливается в приёмнике (зумпфе) и затем скребковым транспортёром удаляется.

Ультразвуковую очистку применяют для мелких деталей в жидкой ванне, в которую добавляют абразивный материал. Высокочастотные колебания жидкости, окружающей отливку, способствуют отделению от неё ржавчины, окалины, пригара, и снятию заусенцев. После очистки отливку извлекают из ванны и промывают.

После очистки от остатков формовочной и стержневой смесей и пригара на отливках остаются остатки питателей, заливы, заусенцы, приливы, наросты и различные неровности. Все неровности удаляются с поверхности отливок путём обрубки.

Обрубку, т.е. удаление литников, прибылей и дефектов, проводят на дисковых и ленточных пилах, газовой и элект-

родуговой резкой, пневматическими зубилами и другими способами. В случае необходимости в отливках проводят вырубку дефектов для последующего исправления их заваркой.

1.6.3. Зачистка отливок

Часто после обрубки проводят зачистку (обдирку) отливок. Зачистка осуществляется абразивными кругами с целью удаления остатков заливов, заусенцев и неровностей, оставшихся после очистки и обрубки. Действие абразивных кругов состоит в том, что острые, выступающие наружу зёрна круга выполняют такую же работу, как и зубья станочной фрезы: они снимают с обрабатываемого предмета металл в виде очень мелкой, иногда даже пылевидной стружки. Поэтому при обработке абразивным кругом можно получить ровную, чистую поверхность.

При массовом производстве для зачистки отливок применяют автоматические обдирочные станки. Обдирка отливок при единичном и мелкосерийном производстве осуществляется на обдирочных станках трёх типов — стационарных, подвесных и переносных.

Отливки весом до 30 кг обрабатываются на стационарных обдирочных двухместных станках с абразивными кругами диаметром 300...600 мм. Отливка в процессе обработки поддерживается под ручником — суппортом, устанавливаемым на станке впереди круга. Подручник делается подвижным, чтобы по мере износа абразивного круга его можно было приближать к кругу, оставляя неизменной величины зазора между подручником и кругом.

Специальные стационарные обдирочные станки применяют для обдирки отливок из алюминиевых сплавов. Вместо абразивного круга на шпиндель станка в этом случае насаживается металлический опилочный круг. Скорость вращения шпинделя станка до 300 об/мин (5 с^{-1}). Применяемые опилочные диски имеют диаметр 300 мм. На тор-

цевой и цилиндрической поверхностях этих дисков имеются зубья, подобные зубьям напильников, изготавливаемых фрезерованием. На станке устанавливают два диска с противоположными направлениями резания: один — с левым, а другой — с правым. Диски изготавливаются из стали У10 или У8.

Применение опилочных дисков при обработке отливок из алюминиевых сплавов значительно облегчает труд рабочего и повышает его производительность в зависимости от конфигурации отливок на 25...100 %.

Некоторые отливки неудобно обдирать на стационарных станках из-за большого веса, значительной длины или сложности конфигурации. Такие отливки обрабатывают на подвесных обдирочных станках, называемых маятниковыми.

Обдирка небольших поверхностей на крупных отливках осуществляется переносными электрическими или пневматическими обдирочными станками, имеющими небольшой вес; они легко переносятся одним рабочим. При крупносерийном производстве для обдирки отливок используют автоматы.

1.7. Изготовление отливок специальными способами

1.7.1. Литье в оболочковые формы

Главные преимущества специальных способов литья — возможность получать более точные и с лучшей поверхностью отливки. Использование этих способов позволяет уменьшить или даже отменить припуски на механическую обработку отливок; кроме того, достигается экономия металла и уменьшается стоимость механической обработки отливок.

Литьё в оболочковые формы — один из прогрессивных способов получения отливок, по размерам близкое приближающихся к размерам готовой детали. Этот способ позволяет механизировать и автоматизировать все производствен-

ные процессы. Литьё в оболочковые формы по сравнению с литьём в песчаные формы имеет следующие преимущества:

- уменьшение расхода жидкого металла на 20...30 % за счёт снижения припусков на механическую обработку благодаря повышенной точности размеров отливки и уменьшения размеров литниковой системы;
- значительное сокращение объёма механической обработки;
- уменьшение расхода формовочных и стержневых материалов и затрат на приготовление смеси и её транспортировку в 5...6 раз;
- уменьшение трудоёмкости очистных работ на 10...20 %;
- уменьшение трудоёмкости изготовления отливки на 30...60 %;
- возможность хранения оболочковых форм и стержней на складе продолжительное время из-за их влагостойкости.

Процесс получения оболочковых разъемных форм и оболочковых стержней основан на том, что ряд термореактивных смол имеет свойство плавиться, а затем необратимо затвердевать под действием повышенных температур.

Модельная оснастка для реализации данного способа состоит из моделей отливок, модельных плит, стержневых ящиков, моделей литниковой системы и механизмов для съёма оболочек.

Сухая песчано-смоляная смесь, состоящая из мелкого кварцевого песка и 6...8 % порошка термореактивной (пульвербакелитовой или карбамидной) смолы, наносится на модельную плиту, нагретую до 220...250 °С. На модельную плиту, а также на поверхность стержневых ящиков наносят разделительное покрытие, состоящее из смеси силиконовой жидкости, эмульсина, церезина и др. Слой смеси, прилегающей к плите, нагревается, термореактивная смола расплавляется и в течение 12...20 сек образует вокруг модели и плиты оболочку толщиной 6...10 мм. После удаления неразмягчённой смеси модельная плита вместе с песча-

но-смоляной оболочкой помещается в печь, нагретую до температуры 350-370 °С, для окончательного отверждения. Здесь смола переходит в твёрдое необратимое состояние. Отверждение продолжается 1,5...2 мин. Прочность оболочки на разрыв достигает 100...150 МПа.

Оболочковые, пустотелые стержни изготавливаются по этому же принципу.

Процесс изготовления оболочковой полуформы состоит в следующем. Формовочная смесь засыпается в поворотный бункер и на нём закрепляется прогретая до температуры 220...250 °С модельная плита. После поворота бункера на 180° и выдержки в таком положении в течение 12...20 сек на модели образуется слой спёкшейся смеси толщиной 6...10 мм. Затем бункер возвращается в исходное положение и с него снимается модельная плита с образовавшейся оболочкой. Модельная плита вместе с оболочкой помещается в электрическую печь для окончательного отверждения оболочки при температуре 280...320 °С. Оболочка с плиты удаляется при помощи толкателей.

Нижняя оболочка — полуформа после установки в неё стержней накрывается верхней оболочкой — полуформой. Полуформы склеиваются или скрепляются скобами. Склеивание полуформ проводят под давлением с помощью пульвербакелита или клеев на основе мочевиноформальдегидной смолы.

Готовые формы устанавливают в контейнер и засыпают дробью или песком, чтобы предотвратить прорыв жидкого металла при их заполнении.

Выбивка и очистка отливок при литье в оболочковые формы являются нетрудоёмкими операциями, так как на отливках отсутствует пригар, а литники и прибыли имеют малые размеры. Оболочковые формы легко разрушаются из-за выгорания смол в процессе заливки расплава, поэтому легко извлекаются отливки. Отработанную смесь и упорочняющую засыпку регенерируют, освежают и вновь возвращают в производство.

Литьё в оболочковые формы целесообразно применять в условиях крупносерийного и массового производств. Процесс является высокомеханизированным и автоматизированным производством. Литьём в оболочковые формы получают детали автомобилей и тракторов, сельскохозяйственных механизмов, полиграфических и текстильных машин из чугуна, сталей и цветных сплавов массой 5...15 кг (в отдельных случаях она может достигать 100...150 кг).

Преимуществом литья в оболочковые формы является получение отливок, с точностью, достигающей 12...13 качества и с шероховатостью $Ra = 40...2,5$ мкм. Главным недостатком этого способа является высокая стоимость песчано-смоляных смесей.

1.7.2. Литьё по выплавляемым моделям

Сущность способа состоит в том, что модели для изготовления неразъёмных форм делают из легкоплавких или легковыжигаемых материалов и удаляют их после изготовления форм выплавлением или выжиганием. Таким образом, модель служит только один раз. Способ литья по выплавляемым моделям уже давно известен литейщикам под названием литья по восковым моделям.

Способ литья по выплавляемым моделям особенно характерен тем, что отсутствие разъёмов форм даёт возможность получать весьма сложные отливки с большой точностью размеров при резком сокращении объёма их механической обработки. Кроме того, применением этих способов достигается высокая чистота поверхности форм и заливка производится в нагретые формы, что обеспечивает получение тонкостенных отливок.

При использовании этого способа нет необходимости упрощать конструкции деталей путём их расчленения, что обычно увеличивает объём механической обработки, можно объединить несколько деталей в один узел и таким образом снизить расход металла на 50...60 %.

Литьё по выплавляемым моделям особенно целесообразно применять для изготовления деталей из сплавов с повышенной твёрдостью, со сложной механической обработкой, требующей изготовления значительного количества приспособлений, специального режущего и измерительного инструмента.

Способом литья по выплавляемым моделям изготавливают самые различные детали преимущественно из углеродистой и легированной сталей, а также из цветных сплавов.

Выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах. В зависимости от назначения различают пресс-формы, используемые при мелкосерийном производстве, и пресс-формы, рассчитанные на длительный срок службы в массовом производстве. В первом случае применяют литые пресс-формы из легкоплавких сплавов, эпоксидной смолы с наполнителем, гипсовые, во втором — стальные пресс-формы, изготовленные механической обработкой. Аналогичные пресс-формы изготавливают и для литниковой системы.

Для изготовления моделей отливок обычно применяется модельный состав, состоящий из 50...60 % парафина и 50...40 % стеарина, а для более сложных моделей — состав из 25...35 % парафина и 75...65 % стеарина, а также другие составы, включающие церезин, полистирол, канифоль.

Мелкие пресс-формы заливают жидким составом, а более крупные заполняют пастообразным составом с помощью шприца, а затем модельный состав подвергают прессованию вручную или на прессе. Изготовленные модели охлаждают в пресс-формах, затем вынимают их из пресс-форм, в которые после очистки вновь запрессовывают модельный состав.

Одновременно с изготовлением выплавляемых моделей изготавливают из того же состава модели литниковой системы, которые припаиваются к моделям отливок с помощью электропаяльника, ножа и пинцета.

На готовые модельные комплекты путём окунания наносят несколько слоёв огнеупорного покрытия из пылевидного

кварца на гидролизованном растворе этилсиликата. Затем производится обсыпка моделей песком для увеличения прочности покрытий. После нанесения огнеупорного покрытия модельные комплекты устанавливают в опоки, которые заполняют наполнителем, а затем в печах выплавляется модельный состав и выжигаются его остатки из полости формы.

В качестве наполнителей обычно применяют сухой кварцевый песок и только изредка (для формы высокой прочности) влажные наполнители, содержащие, кроме песка, глинозёмистый цемент (около 12 % от веса песка) и воду. Уплотнение наполнителя производят вручную (в небольших мастерских) или на вибрационной машине. Для того чтобы сухой наполнитель не высыпался из опоки, её торцы заделывают слоем смеси из песка и 10 % жидкого стекла.

Модели выплавляются тремя способами: в электронагревательных шкафах при температуре 150...200 °С; в ваннах с горячей водой и действием струи пара или горячего воздуха. Выжигание остатков модельного состава производится в электрических нагревательных печах различных конструкций при температуре 850...900 °С в течение нескольких часов. После этого горячие формы заливают жидкой сталью или другим сплавом.

После охлаждения отливки вынимают из форм, удаляют с них огнеупорное покрытие, затем от отливки отрезают литниковые системы, поверхность реза зачищают шлифовальной бумагой. В случае необходимости отливки подвергают термической обработке. Последовательность изготовления оболочковой формы по выплавляемым моделям показана на рисунке 1.18. Модель детали типа тела вращения (рис. 1.18, а) получают путём запрессовки модельного состава (рис. 1.18, б) через отверстие в одногнёздных пресс-формах из гипса, дерева, пластмасс, из сплавов на основе свинца, олова, цинка, алюминия (мелкосерийное производство); в многогнёздных пресс-формах из стали и алюминиевых сплавов (серийное производство) и из стали (массовое производство).

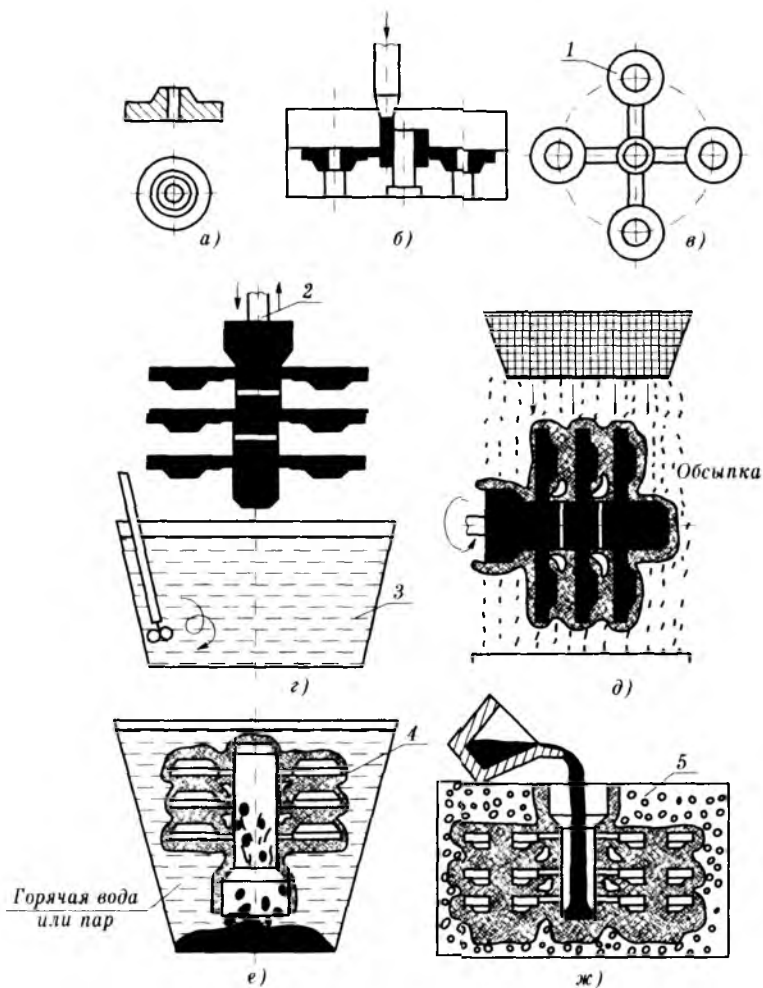


Рис. 1.18. Схема изготовления формы по выплавляемой модели:

- а — готовая деталь; б — изготовление модели;
 в — блок моделей; г — нанесение суспензии;
 д — обсыпка песком; е — удаление моделей; ж — заливка расплава;
 1 — блок из четырёх моделей; 2 — модельный блок;
 3 — суспензия; 4 — многослойная оболочковая форма;
 5 — бой использованных форм

На рисунке 1.18, *в* представлен блок, состоящий из четырёх моделей 1. В специальной пресс-форме отливают модель литниковой системы, к которой крепят модели отливки. Так образуется модельный блок 2, на который в основном методом окунания наносится несколько слоёв (3...10) суспензии 3 (рис. 1.18, *з*) с последующей обсыпкой каждого слоя суспензии сухим песком (рис. 1.18, *д*). После сушки формы на воздухе или в парах аммиака модель из оболочки удаляется горячей водой или паром (рис. 1.18, *е*). Многослойную тонкостенную оболочковую форму 4 для упрочнения перед заливкой расплавом помещают в металлический контейнер и засыпают огнеупорным кварцевым песком или размельчённым боем использованных оболочковых форм 5. Затем контейнер устанавливают в печь для прокаливания формы при 800 °С, а после извлечения из печи контейнера в оболочковую форму заливают расплав (рис. 1.18, *ж*).

В настоящее время литьё по выплавляемым моделям является хорошо отработанным высокомеханизированным и автоматизированным процессом, широко применяемым в современном машиностроении. Этот вид литья позволяет получать сложные по конфигурации и тонкостенные (до 0,3 мм) отливки массой от нескольких граммов до десятков килограммов практически из любых металлов и сплавов. Точность отливок может достигать 9...10 квалитет с шероховатостью поверхности $Ra = 25...1,25$ мкм. Высокая точность отливок обусловлена отсутствием поверхностей раздела в оболочковой форме. Главными недостатками способа являются значительная трудоёмкость и сложность процесса, а также определённые трудности изготовления крупных отливок.

1.7.3. Литьё в кокиль

Кокилем называют металлическую форму, заполняемую расплавом под действием гравитационных сил. Сущность способа заключается в применении многократно используемой литейной формы, которая формирует конфигурацию

и свойства отливки. При этом способе литья либо совсем исключается применение, либо расходуется малое количество песчаных смесей лишь на изготовление разовых стержней. В связи с этим отпадает необходимость в землеприготовительных отделениях.

Модельная оснастка при литье в кокиль включает подогреваемые стержневые ящики (для изготовления сплошных или оболочковых стержней), ящики для холоднотвердеющих стержневых смесей и т.д.

Металлическая форма обладает по сравнению с песчаной значительно большими теплоёмкостью, теплопроводностью, прочностью и нулевой газопроницаемостью. Материалами для кокилей служат: чугуны серые СЧ20, СЧ25 и высокопрочный ВЧ 42-12; низкоуглеродистые стали — сталь 10 и сталь 20; легированные стали 15ХМЛ и др.; алюминиевые сплавы АЛ9 и АЛ11; медь.

Наибольшее распространение получили чугунные кокили. Металлические стержни изготавливают из конструкционных углеродистых (простой формы) и легированных (сложной формы) сталей. Кокили небольших размеров либо отливают, либо получают обработкой резанием из поковок. Рабочие полости и элементы литниковой системы в последнем случае получают электрофизической или электрохимической обработкой. Более крупные кокили изготавливают литьём. С целью стабилизации размеров и форм кокили проходят сложную термическую обработку.

По конструкции кокили бывают простыми и сложными. В зависимости от расположения плоскости разъёма кокили делятся на неразъёмные (вытряхные); с вертикальной и сложной (комбинированной) плоскостями разъёма.

Последовательность изготовления отливки в кокиле показана на рисунке 1.19, а, б, в, г, д. Она состоит из небольшого числа основных операций.

Подготовка кокиля к работе включает очистку поверхностей полуформ 1 и 3 (рис. 1.19, а), плиты 4 и разъёмов от следов загрязнений и масла; проверку возможных смещений,

центрирования и крепления подвижных частей кокиля. Затем кокиль предварительно нагревают до $150...200^{\circ}\text{C}$ газовыми горелками или электронагревателями, что необходимо для лучшего сцепления облицовки и краски с рабочими поверхностями кокиля и металлического стержня 5. Эти огнеупорные покрытия наносятся в виде водной суспензии. Покрытия наносят пульверизатором 2 или кистью на внутренние поверхности раскрытого кокиля. Облицовка может состоять из нескольких слоёв, сверху облицовку покрывают краской для уменьшения шероховатости поверхностей. Краски имеют такой же состав, что и облицовки, но более жидкие.

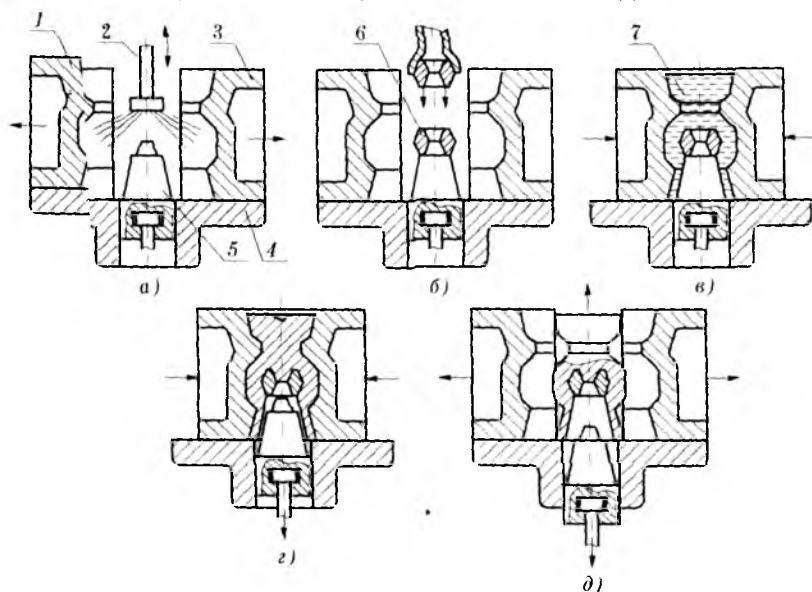


Рис. 1.19. Схема изготовления отливки в металлической форме (кокиле):

- а — очистка полужоков; б — установка стержней; в — заливка расплава; г — неполное извлечение металлического стержня; д — извлечение отливки;
- 1 — половина кокиля (полужоков); 2 — пульверизатор;
 3 — другая половина кокиля (полужоков); 4 — плита;
 5 — металлический стержень; 6 — песчаный стержень;
 7 — расплав

Облицовки и краски защищают кокиль от резкого нагрева и схватывания с отливкой, а также регулируют скорость охлаждения отливки, зависящую от свойств металла отливки. После нанесения огнеупорного покрытия кокиль нагревают до рабочей температуры, значение которой (обычно 150...350 °С) определяется толщиной стенок и размерами, а также свойствами выбранного металла отливки.

При сборке кокилей (рис. 1.19, *в*) предусматривается необходимость установки песчаного стержня *б* (рис. 1.19, *б*). После этого части кокиля соединяются и скрепляются специальными зажимами или с помощью механизма запирания в кокильном устройстве.

При помощи разливочных ковшей или автоматических заливочных устройств производится заливка кокиля расплавом *г* (рис. 1.19, *г*).

После достижения достаточной прочности отливки при её затвердевании металлический стержень частично извлекается из отливки (рис. 1.19, *з*), чтобы избежать чрезмерного обжата его отливкой в результате усадки.

Из открытого кокиля (рис. 1.19, *д*) извлекается затвердевшая и охлаждённая отливка; перед этим окончательно удаляется металлический стержень.

Из отливки выбивают песчаный стержень, обрезают литники, прибыли и выпоры; при необходимости проводят термообработку отливок. Отливки проходят контроль.

Технологический процесс литья в кокиль даёт возможность создавать высокоэффективные автоматические литейные комплексы.

Этот вид литья применяется в условиях крупносерийного и массового производств. Отливки получают из чугуна, стали и цветных сплавов с толщиной стенок 3...100 мм и массой от десятков граммов до сотен килограммов. Точность размеров отливки достигает 12...15-го квалитетов, а шероховатость поверхности — $Ra = 25...2,5$ мкм. Отливки характеризуются стабильностью по механическим свойствам и плотности.

Литьё в кокиль относится к трудо- и материалосберегающим, малооперационным и малоотходным технологическим процессам. Использование данного метода улучшает условия труда в литейном производстве и уменьшает воздействие на окружающую среду.

К недостаткам кокильного литья следует отнести высокую стоимость кокиля, трудность получения тонкостенных отливок в связи с быстрым отводом теплоты от расплава в металлический кокиль, сравнительно небольшое число заливок при изготовлении в нём стальных и чугунных отливок.

1.7.4. Литьё под давлением

Сущность процесса заключается в заполнении металлической формы (пресс-формы) расплавом под действием внешних сил; затвердевание отливки осуществляется под избыточным давлением.

На рисунке 1.20 (*а, б, в*) показана последовательность изготовления отливок на машине с горизонтальной холодной камерой прессования. После закрытия пресс-формы расплав заливают в камеру 2, а гидравлический плунжер 1 (рис. 1.20, *а*) запрессовывает расплав в пресс-форму (рис. 1.20, *б*). Прилагаемое давление способствует повышению жидкотекучести заливаемых расплавов.

Пресс-форма состоит из двух полуформ — подвижной 6 и неподвижной 5. В подвижной полуформе установлен металлический стержень 4 и выталкиватели 3, которые удаляют отливку из пресс-формы после затвердевания и охлаждения (рис. 1.20, *в*). Пресс-форма может быть и многогнездной (до 40 гнезд и более). До заливки пресс-форму нагревают до 150...240 °С. Во время заливки её охлаждают водой (как показано на рис. 1.20, *а, б, в*). После удаления отливки пресс-форма обдувается сжатым воздухом и смазывается. Цикл повторяется.

Схема литейной машины с горячей камерой прессования поршневого действия представлена на рисунке 1.20, *г*.

Из обогреваемого тигля 1 расплав по металлопроводу 2 подаётся в пресс-форму 3.

Литьё под давлением является одним из самых высокопроизводительных специальных видов литья, так как технологический процесс осуществляется на машинах, то его можно полностью автоматизировать.

Этот вид литья широко применяется в точном приборостроении и текстильном машиностроении, электротехнической, автомобильной, тракторной и других отраслях промышленности.

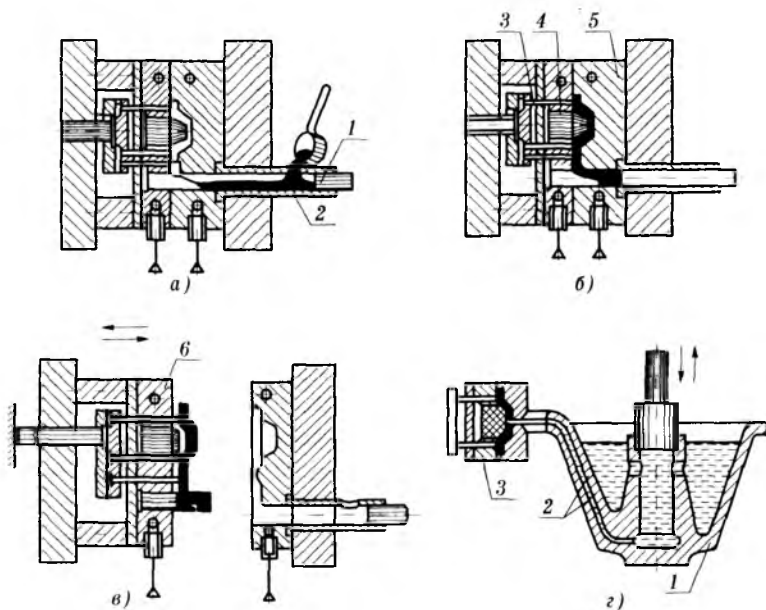


Рис. 1.20. Схемы процесса литья под давлением:
а — заливка расплава; *б* — запрессовка расплава;
в — извлечение отливки;
1 — гидравлический плунжер; *2* — камера;
3 — выталкиватель; *4* — металлический стержень;
5 — подвижная полуформа;
6 — неподвижная полуформа;
г — машина с горячей камерой прессования:
1 — тигель; *2* — металлопровод; *3* — пресс-форма

Возможно получение отливок с толщиной стенок меньше 1 мм. Литьё под давлением используется для получения отливок сложной конфигурации преимущественно из цветных сплавов массой от нескольких граммов до десятков килограммов. За счёт тщательной подготовки пресс-форм точность отливок достигает 8...13-го качественных, шероховатость поверхности $Ra = 25...0,32$ мкм. Отливки характеризуются высокими механическими свойствами, а литьё под давлением вследствие отсутствия формовочных материалов отличается улучшенными условиями труда и меньшим загрязнением окружающей среды. Литьё под давлением по праву считают малооперационной и безотходной технологией.

Недостатками литья под давлением являются высокая стоимость пресс-форм, возможность переработки ограниченной номенклатуры металлов и сплавов, ограниченные размеры и массы отливок.

Сущность способа литья под регулируемым давлением заключается в том, что заполнение формы расплавом и затвердевание отливки осуществляются под действием избыточного давления воздуха или газа.

Различают следующие способы литья под регулируемым давлением: под низким давлением (рис. 1.21, а), вакуумным всасыванием (рис. 1.21, б) и с противодавлением (рис. 1.21, в).

При литье под низким давлением за счёт избыточного давления ($P_{изб} < 0,1$ МПа) расплав поднимается из герметичной камеры I по металлопроводу 1 в форму 2. При литье вакуумным всасыванием также в герметичной камере II создаётся вакуум, а в камере I давление равно атмосферному. По третьей схеме сначала в камерах I и II развивают давления $P_K > P_{атм}$, после чего в камере II давление остаётся постоянным, а в камере I повышается, что обеспечивает заполнение формы расплавом с противодавлением.

Литьё под регулируемым давлением обеспечивает хорошие условия питания отливок расплавом, уменьшает усадочную пористость, повышает плотность и механические свойства отливок.

Литьё под низким давлением используют для получения сложных фасонных тонкостенных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов и простых отливок из чугуна, стали и медных сплавов. Этот способ литья эффективен в условиях серийного и массового производств.

Литьём вакуумным всасыванием изготавливают отливки со стенками равномерной толщины из алюминиевых и магниевых сплавов.

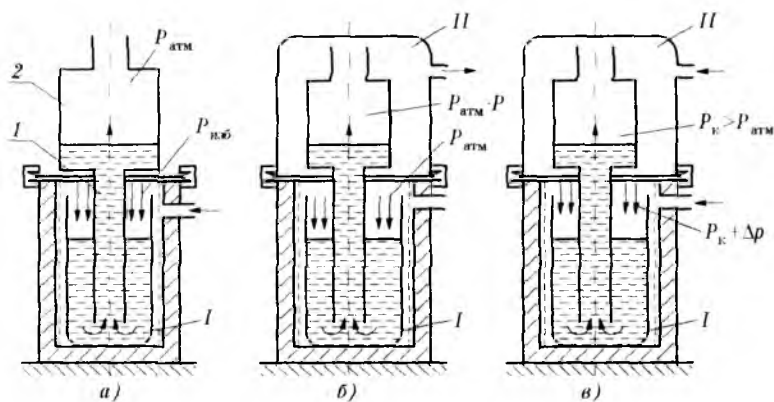


Рис. 1.21. Схемы процессов литья под регулируемым давлением:
 а — под низким давлением; б — вакуумным всасыванием;
 в — с противодавлением:
 1 — металлопровод; 2 — форма;
 I — нижняя камера; II — верхняя камера

1.7.5. Центробежное литьё

Сущность этого способа заключается в том, что под действием центробежных сил, которые больше гравитационных, залитый во вращающуюся форму расплав равномерно распределяется по её внутренней поверхности. После затвердевания образующиеся отливки имеют форму тел вращения (цилиндров, колец, труб).

Металлические формы при центробежном литье называются изложницами; изготавливают их из стали или чугуна.

Когда наружные поверхности отливок имеют сложную форму (выточки, пояски и т.п.), применяют металлические формы, футерованные изнутри песчано-глинистой или песчано-смоляной смесью. Нанесение футеровки осуществляет формовкой по модели или накаткой роликом.

При литье жаропрочных и титановых сплавов используют оболочковые формы из быстротвердеющих смесей. Их изготавливают по выплавляемым моделям, засыпают снаружи опорным материалом после установки в контейнере, который закрепляется на столе центробежной машины.

При отливке могут применяться песчаные стержни.

Для регулировки теплового режима на рабочие поверхности изложницы после предварительного её подогрева (до 200 °С) наносят слой огнеупорного покрытия, как и при кокильном литье. Иногда наносят химически активные покрытия (ферросилиций, графит, алюминиевый порошок) с целью изменения свойств поверхностного слоя отливки.

Последовательность изготовления отливок на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осями вращения форм показана на рисунке 1.22, *а*, *б*. После подготовки изложницу 1 (рис. 1.22, *а*) закрывают крышкой 2 и заливают расплавом через жёлоб 4 из ковша 3. Позиция *I* соответствует этапу заливки расплавом вращающихся форм, *II* — этапу формирования и затвердевания отливок, *III* — этапу извлечения готовых отливок из форм с помощью захватов или толкателей. Машины с горизонтальной осью вращения применяют для производства отливок-труб диаметром от 50 до 1500 мм и длиной 4...5 м, можно также отливать различные втулки, кольца и т.п. Отливки фасонные (втулки, кольца и др.) с размерами по диаметру, превышающими высоту, получают на машинах с вертикальной осью вращения.

Центробежное литьё является производительным способом, хорошо поддающимся механизации и автоматизации. Этот вид литья обеспечивает изготовление отливок массой от нескольких граммов до нескольких тонн.

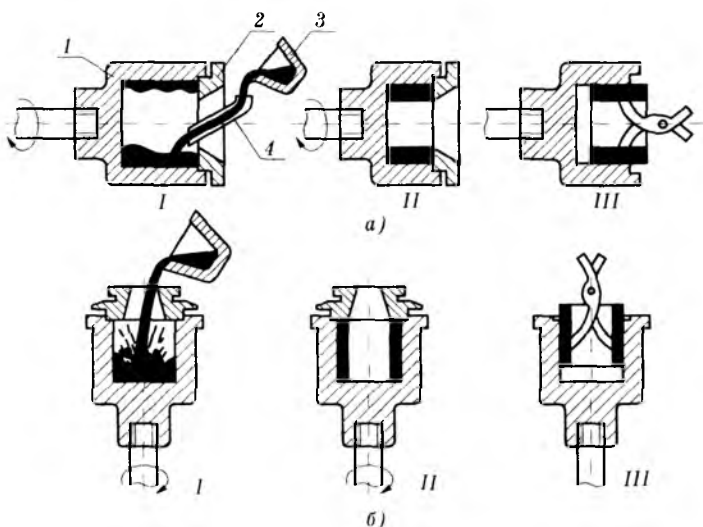


Рис. 1.22. Схема процесса получения отливок центробежным путём:

I — этап заливки; II — этап формирования и затвердевания; III — этап извлечения отливки;
a — на машинах с горизонтальной осью вращения;
б — на машинах с вертикальной осью вращения;
1 — изложница; 2 — крышка; 3 — ковш; 4 — жёлоб

Преимущества центробежного литья следующие: хорошее заполнение формы расплавом; повышенная плотность отливок за счёт уменьшения пор, раковин и других дефектов; высокие механические свойства отливок; возможность получения отливок из двух и более металлов, располагающихся слоями.

Недостатками являются загрязнение внутренней поверхности отливок неметаллическими включениями; получение неровной внутренней поверхности отливок; введение для внутренних размеров сравнительно больших припусков на механическую обработку. Точность отливок достигает 12...14-го качествен, шероховатость поверхности $Ra = 12,5...1,25$ мкм.

1.7.6. Литьё выжиманием и другие способы точного литья

Рассматриваемый способ применяют для точных отливок корпусного типа с тонкими перегородками (2...5 мм), имеющих большие габаритные размеры. Отливки изготавливают преимущественно из алюминиевых и магниевых сплавов. При литье выжиманием применяют установки двух конструкций: с угловым и плоскопараллельным перемещением подвижной полуформы.

Сущность способа с угловым перемещением полуформы (рис. 1.23) заключается в том, что отливка образуется между полуформами, одна из которых 1 подвижна, а другая 2

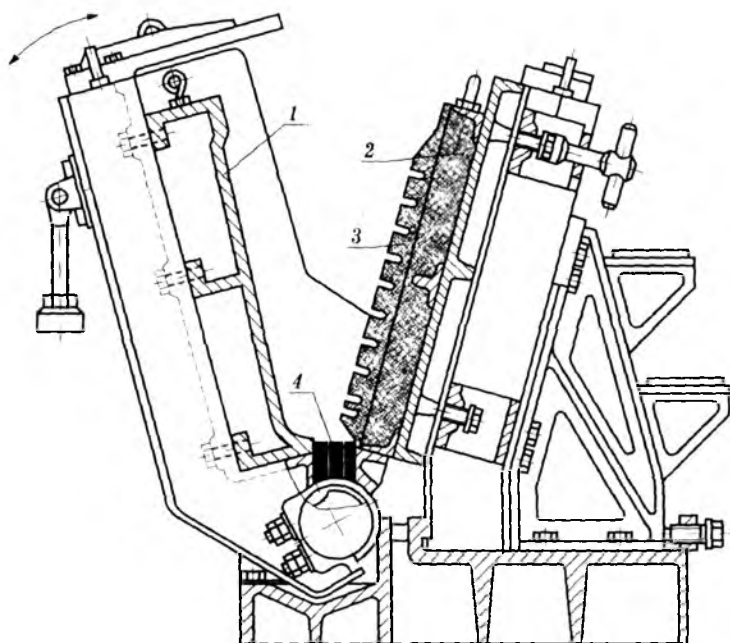


Рис. 1.23. Установка для литья выжиманием
с угловым перемещением подвижной полуформы:
1 — подвижная полуформа; 2 — неподвижная полуформа;
3 — стержень; 4 — металлоприёмник

неподвижна. На неподвижной полуформе устанавливают стержень 3. Металл заливают в металлоприёмник 4 между полуформами. Затем постепенно приближают подвижную полуформу к неподвижной. При их сближении из металлоприёмника расплав выжимается в уменьшающийся зазор между полуформами 1 и 2, где и кристаллизуется после соединения полуформ отливка.

Литьё намораживанием применяют для изготовления лент, труб с внутренними и наружными рёбрами и других сложных профилей из малопластичных сплавов. На поверхность расплавленного металла помещают плиту из огнеупорного материала, в которой имеется отверстие такого профиля, как профиль будущего литого изделия. Внутрь отверстия вводят затравку, к которой жидкий металл притягивается силами поверхностного натяжения и приваривается. При вытягивании затравки со скоростью, не превышающей скорости кристаллизации металла, из отверстия плиты извлекается заготовка соответствующего профиля.

Электрошлаковое литьё — это способ получения литых изделий путём электрошлакового переплава расходуемых электродов 1 (рис. 1.24, а) в водоохлаждаемом кристаллизаторе 5 сложной формы, выполняющем функции литейной формы. Внутренние полости в отливках получают с помощью постоянных водоохлаждаемых стержней-дорнов 6. На отливках могут быть различные фланцы, бобышки, бурты, приливы, усложняющие конструкцию формы-кристаллизатора. В таких случаях используют метод приплавления — когда элементы конструкции литой заготовки, заранее изготовленные и вставленные в соответствующие гнёзда кристаллизатора, соединяются за счёт оплавления торцов жидким металлом расходуемого электрода. Так могут получаться биметаллические и многослойные отливки. Процесс литья начинают с возбуждения дуги между затравкой 7 и расходуемым электродом 1. После образования некоторого количества жидкого метал-

ла и шлака дуга гаснет, а электрический ток проходит через шлак, нагревая его до температуры, способной расплавить металл электрода и оплавить торцы вставленных в отверстия кристаллизатора деталей. По мере движения электрода снизу вверх начинается кристаллизация металла 4, формирующая отливку (рис. 1.24, б). Зоны расплавленного металла 3 и шлака 2 постепенно перемещаются вслед за электродом. Жидкий шлак оказывает рафинирующее действие на жидкий металл, обеспечивая высокое качество металла отливки.

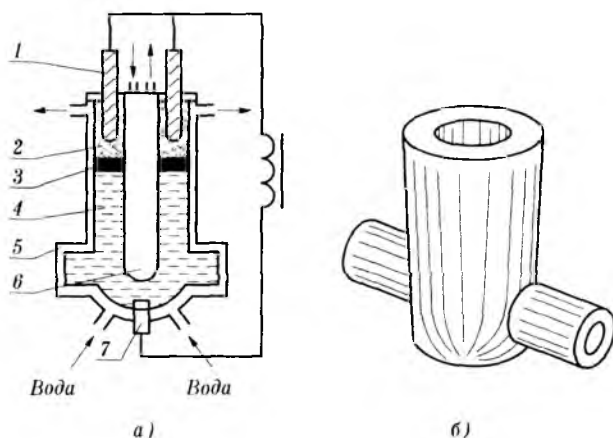


Рис. 1.24. Схема электрошлакового литья методом заполнения:

- а** — установка электрошлакового литья;
- б** — отливка, полученная в кристаллизаторе;
- 1** — расходующиеся электроды; **2** — шлак;
- 3** — жидкий металл в зоне плавления;
- 4** — металл, формирующий отливку; **5** — водоохлаждаемый кристаллизатор — литейная форма;
- 6** — водоохлаждаемый дорн (стержень);
- 7** — затравка для первоначального возбуждения дуги

Наиболее простой метод электрошлакового литья — это метод заполнения, когда кристаллизатор постепенно снизу вверх заполняется металлом расходующего электрода.

Получили развитие электрошлаковое кокильное литьё (ЭКЛ) и центробежное электрошлаковое литьё (ЦЭШЛ). Сущность этих методов состоит в том, что жидкий металл, полученный из расходуемого электрода электрошлаковым методом под слоем жидкого рафинирующего шлака, заливается в неподвижную металлическую форму (ЭКЛ) или во вращающуюся форму (ЦЭШЛ). Благодаря высокому качеству металла после электрошлакового переплава достигаются высокие эксплуатационные характеристики деталей; например, срок службы литых штампов, инструмента, вкладышей пресс-форм увеличивается в 1,5...2 раза по сравнению с коваными. Получение штампов с готовыми ручьями сокращает объём механической обработки, экономятся дорогостоящий материал и затраты труда.

Электрошлаковая отливка отличается химической и структурной однородностью металла, т.е. свободна от ликвации, в ней отсутствуют дефекты усадочного происхождения и газовые поры.

Электрошлаковое литьё применяют как в крупносерийном производстве, так и при изготовлении единичных уникальных изделий. Оно широко применяется для изготовления сосудов высоких давлений, валков прокатных станов, ответственных коленчатых валов и шатунов, запорной энергетической арматуры, ответственной технологической оснастки и инструмента.

Литьё волокнистых композиционных изделий — прогрессивный, бурно развивающийся технологический процесс в современном машиностроении. Литые волокнистые композиционные материалы отличаются высокой прочностью, выносливостью и малой плотностью, что позволяет уменьшить массу конструкций на 18...60 % по сравнению с традиционными сплавами.

Наиболее широко применяются литые композиционные материалы, состоящие из бора в виде тонких волокон и алюминия (В-Al), магния и др. При содержании в

композиции до 50 % бора В литой композит имеет прочность на разрыв $\sigma_{\text{в}} = 1000 \dots 1400$ МПа и модуль упругости $E = 210000 \dots 270000$ МПа при плотности $\rho = 2,6$ г/см³ и отличается низким коэффициентом линейного расширения $\alpha = (2 \dots 5) \cdot 10^6$ град.⁻¹. Такое сочетание свойств у обычных литых сплавов недостижимо.

Например, алюминий, имея плотность 2,7 г/см³, или магний, имея плотность 1,7 г/см³, обладают низким модулем упругости (70000 и 50000 МПа соответственно), высоким коэффициентом линейного расширения $\alpha = (20 \dots 25) \cdot 10^6$ град.⁻¹ и низкой температурой плавления. Тугоплавкие металлы, например вольфрам и молибден, имея низкий коэффициент линейного расширения $\alpha = (4,5 \dots 6,9) \cdot 10^6$ град.⁻¹, высокий модуль упругости $E = 300000 \dots 400000$ МПа, обладают высокой плотностью ($\rho = 19,2$ и $10,2$ г/см³ соответственно).

Для изготовления композитов используют различные методы: горячее прессование, пайку, пропитку расплавленными металлами, диффузионную сварку, плазменное напыление и др. Одним из наиболее эффективных методов получения композитов является метод литья, обеспечивающий непрерывность процесса и возможность изготовления изделий большой длины (20 м и более). Волокна бора протягиваются через расплав алюминия со скоростью 450 м/ч. Протягивание через расплав происходит сверху или снизу (рис. 1.25). Таким способом могут быть получены изделия различного профиля.

Литьё биметаллических отливок осуществляется в машиностроении и приборостроении с целью получения в одной детали участков с различными физическими и механическими свойствами. Биметаллические и многослойные литые изделия изготавливают методом заливки жидкого металла на твердую основу либо послойной заливки форм сплавами различного химического состава. Такие изделия, в отличие от монометаллических, обладают удачным сочетанием требуемых свойств, дифференцированных по объёму и поверхностям деталей.

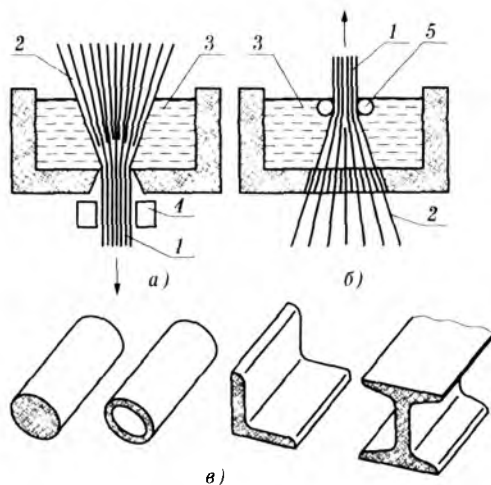


Рис. 1.25. Схема получения литых композитов:
***а* — протягивание волокон сверху через расплав;**
***б* — протягивание волокон снизу через расплав;**
***в* — формы литых композитных изделий;**
***1* — литой композит; *2* — отдельные волокна; *3* — расплав Al;**
***4* — ограничители; *5* — охлаждающие ролики**

Используя различные по химическому составу и свойствам материалы, технология биметаллического литья позволяет получать изделия с разными эксплуатационными характеристиками в различных частях. Применение биметаллических и многослойных отливок обеспечивает не только технический, но и большой экономический эффект в промышленности. При этом увеличиваются надёжность и износостойкость литых изделий. Биметаллические отливки могут быть получены в стационарных песчаных и металлических формах, электрошлаковым литьём, литьём под давлением и центробежным литьём. Широкое применение биметаллические и многослойные изделия находят в моторостроении (рис. 1.26) — гильзы, цилиндры, поршни, коромысла, штанги, толкатели и др., в химическом и энергетическом машиностроении, машиностроении для нефтеперерабатывающей и пищевой промышленности, в приборостроении.

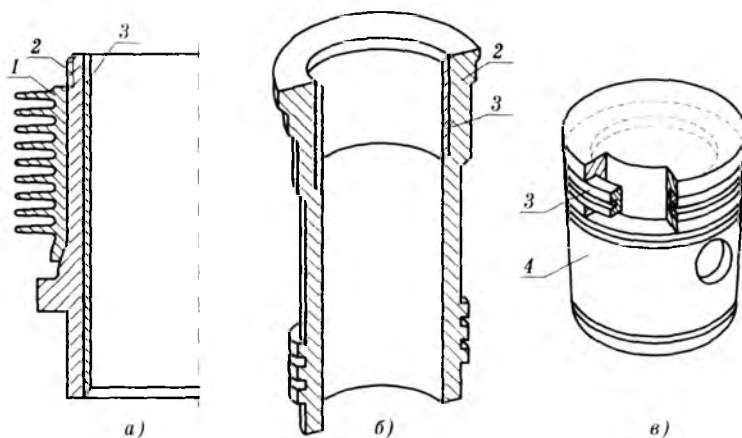


Рис. 1.26. Биметаллические изделия:

- а** — цилиндр двигателя воздушного охлаждения;
б — гильза цилиндра двигателя с жидкостным охлаждением;
в — поршень двигателя;
1 — алюминиевый сплав; **2** — серый чугун;
3 — аустенитный чугун (нирезист — 18 % Ni, 8 % Cu, 3 % Cr);
4 — корпус поршня

Литьё в керамические формы. Огнеупорные формы, изготавливаемые из керамических смесей, графита, шамота и бетона, применяются в промышленности для производства сложных и точных отливок массой от нескольких килограммов до нескольких тонн с криволинейными поверхностями из труднообрабатываемых материалов, а также обычных чёрных и цветных сплавов. Наибольшее распространение получили формы из керамических смесей.

В керамических формах изготавливают отливки с минимальными припусками на механическую обработку или без назначения припусков, т.е. готовые детали например, литейные кокили. Сущность способа состоит в следующем. Очень точную с малой шероховатостью металлическую литейную модель устанавливают на плите внутри опоки. В опоку заливается суспензия, приготовленная путём тщательного перемешивания песка, пылевидного кварца, гидроли-

зованного этилсиликата, маршаллита с последующим добавлением водного раствора щёлочи. Для уплотнения смеси применяют вибрацию. Суспензия через несколько минут затвердевает на поверхности модели внутри опоки. После этого модель извлекают из формы, а форму прокаливают при температуре 800...850 °С. Спирт, входящий в состав этилсиликата, выгорает, а смесь превращается в керамику с чистой, прочной и гладкой поверхностью. Отпечаток модели получается точным и чётким. Газопроницаемость формы очень высока в результате образования после прокалики мелких каналов, газотворная способность очень низка.

Литейная керамическая форма может быть монолитной и двухслойной. Двухслойные формы применяют для крупных отливок. Облицовочный слой, соприкасающийся с моделью, делают из керамики, наполнитель (опорный слой) которого состоит, например, из дешёвой шамотной крошки. Модели перед формовкой для предотвращения прилипания смеси покрывают разделительными составами, например силиконовой жидкостью. Затем наносят второй слой из обычной суспензии на основе песка и пылевидного кварца. Для получения сложных пустотелых отливок применяют керамические стержни, изготавливаемые в пресс-формах, а затем спекаемые и устанавливаемые в литейные формы.

Метод литья в керамические формы ускоряет процесс изготовления очень точной и сложной технологической оснастки или отдельных её частей. При этом на 60 % сокращается объём механической обработки оснастки со сложными криволинейными поверхностями и на 50 % сокращается расход высоколегированных сплавов.

Наряду с большими преимуществами (точность и малая шероховатость поверхности отливок, малые припуски на механическую обработку) способ литья в керамические формы имеет недостаток — обезуглероживание поверхностного слоя стальных отливок из-за взаимодействия кислорода в форме с углеродом стали. Обезуглероженный поверх-

ностный слой снижает эксплуатационные свойства отливок. Для предотвращения обезуглероживания поверхности отливок керамические формы после прокалики пропитывают 10%-ым раствором пульвербакелита в спирте, а затем её просушивают и прокаливают вновь. На рабочей поверхности формы остаётся сажистый углерод, который, вступая во взаимодействие с кислородом, предохраняет отливку от обезуглероживания.

Область применения литья в керамические формы обширна, но применение их рационально для сложных отливок из труднообрабатываемых сплавов с большим объёмом механической обработки. Этим методом экономически целесообразно получать литейную оснастку из чугуна, стали и цветных сплавов (модели, кокили, пресс-формы), штампы для горячей объёмной штамповки, вырубные штампы, штампы для жидкой штамповки стали и другую сложную технологическую оснастку. Керамические формы используют для отливки форм, в которых получают изделия из хрусталя и стекла. Широкое применение этот способ нашёл в ювелирной промышленности для отливки украшений из драгоценных металлов, а также в зубопротезной практике.

1.8. Обеспечение качества отливок

Под качеством продукции понимается совокупность свойств и характеристик продукции или услуг, которые придают им способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности. Обеспечение качества продукции включает в себя методы и виды деятельности управленческого и деятельного характера, используемые для выполнения требований к качеству. В соответствии со стандартом ГОСТ Р 9001-2008 на предприятиях разрабатывается и поддерживается в функциональном состоянии система обеспечения качества продукции. На международном уровне требования к качеству определены международной организацией по стандартизации ИСО стандартами серии 9000.

Эти стандарты вошли непосредственно в производственные процессы, сферу управления и установили чёткие требования к системам обеспечения качества. Они положили начало сертификации систем качества на предприятиях и организациях, основу которых составляет управление и обеспечение жизненного цикла продукции предприятия на всех стадиях её существования.

Для приведения законодательной и нормативной базы в области качества продукции в Российской Федерации в соответствии с международной базой с 1 июля 2003 г. введён в действие Федеральный закон «О техническом регулировании». Данный закон регулирует отношения, возникающие при разработке, принятии, применении и исполнении на добровольной основе обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранению, перевозке, реализации и утилизации; выполнению работ или оказанию услуг; оценке соответствия (в том числе сертификации). В законе отражены цели и принципы стандартизации в производственной сфере. Выполнение требований стандартов разного уровня, в том числе и организаций, является основой качества продукции. В области литейного производства действует большое количество национальных стандартов, одним из которых является стандарт «Отливки из металлов и сплавов. Допуски на размеры, массы и припуски на механическую обработку (ГОСТ 26645-85). Данный стандарт распространяется на отливки из чёрных и цветных металлов и сплавов и устанавливает допуски размеров, формы, расположения и неровностей поверхностей, допуски массы и припуски на обработку.

Правильное назначение припусков на механическую обработку обеспечивает требуемую точность размеров после механической обработки и оптимальную себестоимость деталей, являющейся важной составляющей конкурентоспособности продукции.

Припуски на обработку (на сторону) назначают дифференцированно на каждую обрабатываемую поверхность от-

ливки. Литейный припуск на механическую обработку бывает минимальным и общим. В общем припуске учитывают отклонения формы и расположения поверхности в отличие от минимального, в котором этого не делают.

На отливки устанавливают четыре нормы точности и допуск на смещение одной части отливки относительно другой при использовании разъёмной модели.

В обозначении точности отливок нормы точности приводят в следующем порядке:

- класс размерной точности;
- степень коробления;
- степень точности поверхностей (формы и расположения);
- класс точности масс;
- допуск смещения отливки.

Пример условного обозначения отливки 8-го класса размерной точности, 5-й степени коробления, 4-й степени точности поверхностей, 7-го класса точности массы с допуском смещения 0,8 мм:

Точность отливки 8-5-4-7 См 0,8 ГОСТ 26645-85.

Ненормируемые показатели точности отливок заменяют нулями, а обозначение смещения опускают. Например:

Точность отливки 8-0-0-7 ГОСТ 26645-85.

В технических требованиях чертежей отливок допускается сокращённая номенклатура норм точности отливки, при этом указание классов размерной точности и массы отливки является обязательным. Например:

Точность отливки 8-0-0-7 См 0,8 ГОСТ 26645-85.

В технических требованиях чертежа отливки или детали с нанесёнными размерами отливки должны быть указаны в нижеприведённом порядке значения номинальных масс детали, припусков на обработку, технологических напусков и массы отливки.

Пример обозначения номинальных масс детали, припусков на обработку, технологических напусков и отливки:

Масса 20,35-0-1,35-20,70 ГОСТ 26645-85.

Размерная точность отливок. В стандарте приведены применяющиеся способы получения отливок, каждый из которых обеспечивает интервал классов размерной точности в зависимости от наибольшего габаритного размера отливки и типа сплава. Ряд классов размерной точности состоит из 22 классов, из которых самый точный 1, а самый грубый 16. Среди этих классов третьему предшествует 3 т, пятому — 5 т, седьмому — 7 т, девятому — 9 т, одиннадцатому — 11 т и тринадцатому — 13 т, поэтому в совокупности насчитывается всего 22 класса. Меньшие (более точные) значения классов из выбранного интервала, обеспечиваемые соответствующим способом, относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие значения — к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние — к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

Степень коробления элементов отливок. Насчитывается 11 степеней коробления отливок, выбор которых зависит от кратности использования форм, наличия или отсутствия термической обработки и отношения наименьшего размера элемента отливки к наибольшему (толщины или высоты к длине элемента отливки). Выбирается интервал степеней, меньшие значения которого относятся к простым отливкам из лёгких цветных сплавов, большие значения — к сложным отливкам из чёрных металлов.

Степень точности поверхностей отливок. В стандарте приведены 22 степени точности, из которых 1-я степень — самая точная, а 22-я — самая грубая. Для каждого приведённого способа получения отливок даётся интервал степеней, выбор которого зависит от наибольшего габаритного размера отливки и типа сплава. Меньшие (более точные) значения классов из выбранного интервала, обеспечиваемого соответствующим способом, относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие значения — к сложным отливкам еди-

ничного и мелкосерийного производства, средние — к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

Классы точности массы отливок. Выбор классов точности массы отливок проводится аналогично выбору классов размерной точности. В стандарте приведены применяющиеся способы получения отливок, каждый из которых обеспечивает интервал классов точности массы в зависимости от номинальной массы отливки и типа сплава. Ряд классов точности массы также состоит из 22 классов, из которых самый точный 1, а самый грубый 16. Среди этих классов третьему предшествует 3 т, пятому — 5 т, седьмому — 7 т, девятому — 9 т, одиннадцатому — 11 т и тринадцатому — 13 т, поэтому в совокупности насчитывается всего 22 класса. Меньшие (более точные) значения классов из выбранного интервала, обеспечиваемые соответствующим способом, относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие значения — к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние — к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

Методика расчёта припусков отливок. В качестве исходного материала для расчётов используется эскиз детали с указанными на нём размерами и допусками размеров. Размеры детали используются для расчёта её объёма как суммы объёмов элементарных геометрических тел, образующих деталь. Канавки, фаски, проточки, отверстия для крепёжных деталей не учитываются. Объём зубчатого колеса рассчитывается с учётом неравенства объёма впадины между зубьями выше делительной окружности и ниже её. Следует использовать не делительную окружность, а диаметр окружности выступов $D_{ов}$ минус $2/3m$ ($D_{ов} - 2/3m$). При расчёте массы стальной детали рекомендуется принимать плотность стали, равную $7,85 \cdot 10^{-3}$ г/мм³, а для чугунной детали принимать плотность, равную $7,25 \cdot 10^{-3}$ г/мм³. Порядок расчёта следующий:

1. Назначают метод получения отливки в зависимости от серийности производства и его технологических возможностей (литьё в песчано-глинистые формы с разной степенью влажности смесей; литьё в оболочковые или отверждаемые формы; под давлением; в кокили; в вакуумно-плёночные песчаные формы и другие способы). Каждый метод обеспечивает нормативы классов или степеней точности в зависимости от размеров отливки и типа сплава в виде интервалов их номеров в таблицах 9, 10, 11 и 13 (ГОСТ 26645-85), а также шероховатости поверхностей (табл. 12) в зависимости от степени точности поверхности отливки.
2. В первую очередь должен быть установлен (или задан) класс размерной точности отливки в зависимости от наибольшего габаритного размера и типа сплава (табл. 9, ГОСТ 26645-85).
3. Определяют степень коробления отливки в зависимости от кратности использования формы, наличия термообработки и соотношения наименьшего размера в отливке к наибольшему (например, отношение толщины к длине) по таблице 10, ГОСТ 26645-85, Приложение 2.
4. Определяют допуски размеров поверхностей отливки в зависимости от их номинальных размеров и классов размерной точности (от 1 до 16, причём классы 3, 5, 7, 9, 11, 13 предусматривают расширенные значения и в обозначении имеют индекс Т: 3Т, 5Т, 7Т, 9Т, 11Т, 13Т (табл. 1, ГОСТ 26645-85)).
5. Определяют допуск формы и расположения элементов отливки в зависимости от найденной степени их коробления в пункте 3 и номинального размера для рассматриваемой поверхности (табл. 2, ГОСТ 26645-85).
6. Находят общий допуск элемента отливки (табл. 16, ГОСТ 26645-85) по найденному допуску размера отливки в пункте 4 и допуску формы и расположения поверхности, найденному в пункте 5.

7. Находят степень точности поверхностей отливки (табл. 11, ГОСТ 26645-85) в зависимости от метода получения отливки, наибольшего габаритного размера отливки и типа сплава (подобно нахождению класса размерной точности в п. 2).
8. Находят номер ряда припусков на механическую обработку в виде диапазона в зависимости от степени точности поверхности отливки (табл. 14, ГОСТ 26645-85). Меньшие значения рядов допусков из диапазона их значений следует принимать для термообработанных отливок из цветных металлов и сплавов, большие значения для отливок из ковкого чугуна, средние значения — для отливок из серого и высокопрочного чугуна, термообработанных отливок из стальных и цветных тугоплавких сплавов.
9. Находят значение соотношения допусков размера детали и отливки. Допуск размера детали устанавливается по чертежу (эскизу). Допуск размера отливки определяется в п. 6, как общий допуск.
10. Устанавливают вид окончательной механической обработки рассматриваемой поверхности детали для достижения указанной точности в чертеже (эскизе). Стандартом предусмотрены такие виды окончательной механической обработки для достижения указанной в чертеже (эскизе) точности: черновая, получистовая, чистовая и тонкая (табл. 7, ГОСТ 26645-85). Необходимые данные для установления вида механической обработки даны здесь в таблице 1.2.
11. По таблице 6 находят общий припуск на сторону для рассматриваемой поверхности на основании общего допуска элемента поверхности, вида окончательной механической обработки и номера ряда припусков отливки. По этой же таблице находят и промежуточные припуски на обработку для получистовой, чистой и тонкой, если эти виды предусмотрены в таблице 7 ГОСТ 26645-85.

Таблица 1.2

Определение вида окончательной механической обработки

Допуск размеров отливки	Отношение между допусками размера детали и отливки от базы обработки до обрабатываемой поверхности	Вид окончательной механической обработки
До 0,5	Св. 0,4 От 0,15 до 0,4 От 0,10 до 0,15 Св. 0,10	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Св. 0,5 до 1,0	Св. 0,3 От 0,1 до 0,3 От 0,05 до 0,1 Св. 0,05	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Св. 1,0 до 2,0	Св. 0,2 От 0,1 до 0,2 От 0,05 до 0,1 Св. 0,05	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Св. 2 до 5,0	Св. 0,15 От 0,05 до 0,15 От 0,02 до 0,05 Св. 0,02	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Св. 5	Св. 0,10 От 0,05 до 0,10 От 0,02 до 0,05 Св. 0,02	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая

1.9. Контрольные вопросы

1. Какое значение имеет литейное производство в экономике страны?
2. Какие литейные сплавы применяются в машиностроении?
3. Какие свойства имеют литейные сплавы?

4. Какие плавильные агрегаты используют в литейном производстве?
5. Что представляют собой формовочные смеси?
6. Что представляют собой стержневые смеси и чем они отличаются от формовочных?
7. Какие способы имеются для изготовления литейных форм?
8. Какую роль выполняет литниковая система?
9. Как собираются формы из песчано-глинистой смеси?
10. Как собираются формы при использовании вакуумно-плёночной формовки?
11. Какова сущность очистки, обрубки и зачистки отливок?
12. Какие имеются специальные способы получения отливок и какова сущность каждого из них?
13. Каким образом обеспечивается качество отливок в литейном производстве?
14. Каков порядок расчёта припусков на механическую обработку отливок?

ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

2.1. Физико-механические основы обработки металлов давлением

2.1.1. Общие сведения

Металлы являются кристаллическими телами, характеризующимися упорядоченным расположением в них атомов. Это состояние атомов характеризуется равенством сил притяжения и отталкивания и соответствует минимуму потенциальной энергии атомов. Атомы металла располагаются в параллельных плоскостях на определённых расстояниях друг от друга. Если приложить к металлу внешнюю силу, равновесие атомов нарушается и атомы смещаются относительно друг друга до тех пор, пока не будет достигнуто новое равновесие между атомными силами притяжения и отталкивания с одной стороны и внешней силой — с другой. Такой металл находится в напряжённо-деформированном состоянии. Зависимость внешних сил и атомных сил вначале имеет линейный характер, а затем нелинейный. На линейном участке этой зависимости металл сохраняет свойство вернуться в исходное состояние после прекращения действия внешней силы и не претерпевает изменений формы. Деформация, т.е. изменение размеров и формы, такого вида называется упругой. На нелинейном участке рассматриваемой зависимости после снятия внешней нагрузки металл частично восстанавливает свои размеры и форму за счёт исчезновения упругой деформации. Необратимое изменение формы и линейных размеров называют пластической деформацией. Состояние металла под действием внешней силы, когда имеют место и упругая, и пластическая деформации, называют упругопластической.

Обработка металлов давлением основана на использовании пластичности металла, т.е. его свойстве изменять первоначальную форму под действием внешних сил или внутренних напряжений без разрушения и сохранять вновь полученную форму после прекращения действия нагрузки.

Обработка давлением обычно преследует две основные цели: получение изделий сложной формы из заготовок простой формы или улучшение кристаллической структуры исходного литого металла для повышения его механических свойств.

Получение изделий и полуфабрикатов при обработке давлением осуществляется путём пластического деформирования (перераспределения) металла исходной заготовки или разрезанием его без снятия стружки под давлением рабочего инструмента: ножей, бойков, штампов и др. Объём металла заготовки и его плотность при её формоизменении практически не изменяются. Объём исходной заготовки равняется объёму полученного изделия плюс объём отходов (заусенцев, окалины и др.) металла в данном процессе обработки.

В качестве исходных заготовок при обработке давлением используют слитки из стали и цветных сплавов, а также сортовой и листовой прокат.

Обработка давлением является экономичным и прогрессивным технологическим процессом. Отходы металла при этом незначительны и не превышают обычно (за исключением свободнойковки) 20...25 % от массы получаемого изделия или полуфабриката. В ряде процессов, например при холодной штамповке, отходы составляют всего 5...10 %. В то же время при формообразовании изделий обработкой резанием отходы металла в виде стружки составляют свыше 50 % от веса готовой детали; непроизводительно расходуются рабочая сила, энергия, материалы и инструмент. В стружку удаляются наиболее прочные периферийные слои металла прутковых заготовок, имеющие лучшую мелкокристаллическую структуру.

Вместе с экономным расходом металла и одновременным повышением его механических свойств в готовых изделиях обработка давлением обеспечивает чрезвычайно высокую производительность труда по сравнению с другими методами обработки благодаря высоким скоростям формоизменения и одновременному деформированию всего объема заготовки или значительной его части. Например, при прокатке скорость выпуска готовой продукции достигает 20...30 м/сек; при горячей штамповке за 1 мин на одном штамповочном молоте или прессе изготавливаются две-три поковки сложной формы при массе поковки до 20...50 кг; при холодной штамповке производится 1300...1500 мелких деталей в минуту на одном пресс-автомате.

Примером рационального изготовления изделия методом обработки давлением может служить изготовление болта М16×100 холодной высадкой на кривошипном пресс-автомате из заготовки диаметром 16 мм, длиной 139 мм, массой 0,22 кг. Заготовки заранее рубятся из прутка. Масса готового болта равна 0,21 кг; отход металла составляет лишь 4,8 %. При изготовлении болта на токарно-револьверном полуавтомате из шестигранной заготовки массой 0,57 кг отход металла в стружку составляет 171 % от массы готового болта. На этом станке за 1 час можно изготовить только 40 болтов, а при холодной высадке на прессе — 720 болтов. Вместе с тем штампованные болты улучшают макроструктуру и повышают прочность.

Процессы обработки металлов давлением развиваются и совершенствуются в направлении максимального приближения формы и размеров заготовки к конфигурации и размерам готовой детали, что обеспечивает снижение трудоёмкости последующей их обработки резанием, себестоимости продукции и повышение коэффициента использования металла.

Обработка давлением позволяет получить достаточно высокую точность изделий. Например, прокаткой получают фольгу толщиной 2...3 мкм, с допуском в десятые до-

ли мкм; волочением изготавливают проволоку диаметром 10...20 мкм, а холодной объёмной и листовой штамповкой получают готовые детали 9...10 квалитетов точности и с шероховатостью $Ra = 0,08...0,016$ мм, поступающие непосредственно на сборку.

В современном машиностроительном производстве обработке давлением подвергается около 90 % всей выплавляемой стали и 55 % цветных металлов и сплавов.

2.1.2. Основные способы обработки металлов давлением и область их применения

Основными способами обработки металлов давлением являются: прокатка, прессование, волочение, свободная ковка, горячая объёмная штамповка и листовая штамповка. В холодном состоянии выполняются: волочение, холодная листовая и объёмная штамповка и частично прокатка.

Прокаткой называют процесс обжатия заготовки металла *1* между двумя вращающимися валками *2* прокатного стана (рис. 2.1, *а*). Прокатка используется в целях уменьшения размеров поперечного сечения заготовки и придания ей заданной формы. Силы трения $F_{тр}$ затягивают заготовку в валки, а сила F деформирует её. Прокаткой изготавливают листы, прутки различного профиля, рельсы и трубы.

Волочением называется процесс протягивания прутка *1* через отверстие (глазок) в матрице (волоке) *2*. Размеры поперечного сечения глазка меньше размеров сечения исходного материала. Волочение через отверстие осуществляют с силой F (рис. 2.1, *б*). Данный вид обработки производится на волочильных станах и используется для получения тонкой проволоки и калиброванных труб и прутков из стали и цветных сплавов.

Прессование представляет собой процесс выдавливания металла заготовки *1* через отверстие в матрице *2* на гидравлическом прессе (рис. 2.1, *в*). Заготовка помещается в

контейнер 3, в котором на неё воздействуют с силой F давящим инструментом 4. Прессованием получают прутки и трубы из цветных металлов и сплавов.

Свободной ковкой называют процесс последовательной деформации металла заготовки 1 под ударами бойка молота 2 или под нажимами бойка прессы с силой F , имеющего возвратно-поступательное движение (рис. 2.1, з). Ковкой получают заготовки ответственных деталей машин: валов, шатунов, шестерён и др., в условиях индивидуального и мелкосерийного производства.

Горячая объёмная штамповка (ковка в штампах) представляет собой процесс деформации металла (на молоте или прессе) в полости штампа (рис. 2.1, д). Полость разъёмного штампа образуют две части 2. Форма и размеры этой полости полностью определяют конфигурацию изготавливаемой поковки 1. Горячая штамповка широко применяется вместоковки при крупносерийном и массовом производствах в авто-, авиа- и тракторостроении, в горном и сельхозмашиностроении, а также других отраслях промышленности.

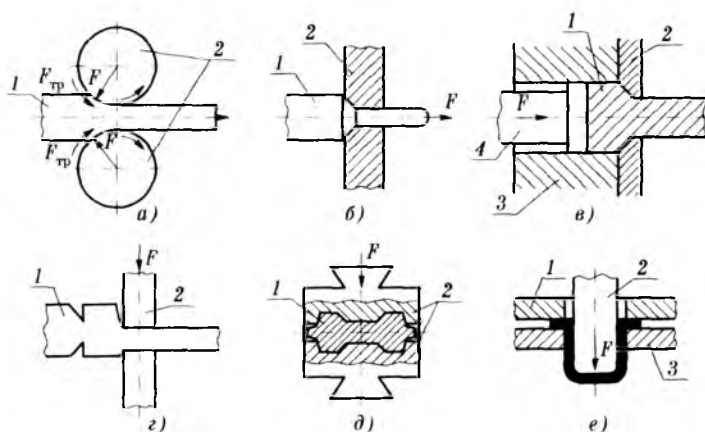


Рис. 2.1. Схемы основных способов обработки металлов давлением:

а — прокатка; б — волочение; в — прессование; г — свободная ковка; д — объёмная штамповка; е — листовая штамповка

Холодной (листовой) штамповкой называют процесс изменения формы исходной листовой заготовки штампами различного назначения, устанавливаемыми на прессах (рис. 2.1, з). На схеме заготовка, закреплённая прижимом 1, вытягивается пуансоном 2 через отверстие в матрице 3. Холодная штамповка имеет большое применение в автопромышленности, приборостроении, электромашиностроении и в производстве изделий широкого потребления.

Особенно велик удельный вес обработки давлением в таких отраслях промышленности, как авто- и авиастроение, приборостроение, производство электрических машин и радиоаппаратуры.

Количество деталей, выполняемых из кованных и штампованных заготовок, в современном автомобиле составляет до 90 %, в самолёте до 85 %, в радиоприёмниках, телевизорах, электрических машинах до 80 %, а в бытовых изделиях широкого назначения доходит до 100 %.

2.1.3. Теоретические основы обработки металлов давлением

Теория обработки металлов давлением — это наука о физической сущности и закономерностях процессов пластической деформации металлов в различных технологических условиях. Основными её задачами являются определение оптимальных условий для пластического деформирования металлов в холодном и горячем состоянии и расчёт необходимых усилий деформации с целью правильного выбора мощности оборудования.

Упругая и пластическая деформация. Как уже отмечалось выше, при упругой деформации происходит искажение кристаллической решётки металла с отклонением групп атомов, расположенных в узлах решётки, от положений их устойчивого равновесия. При снятии внешней нагрузки форма тела восстанавливается, а атомы кристаллической решётки принимают первоначальное положение.

ние, причём изменений в строении и свойствах металла не происходит.

Пластическая деформация металлов, имеющих неоднородное поликристаллическое строение, является сложным механическим и физико-химическим процессом, вызывающим коренные изменения в структуре металла и его свойствах в зависимости от тепловых и механических условий деформации. Пластическая деформация отдельно взятого металлического кристалла может происходить путём скольжения или двойникования.

Скольжение представляет собой последовательные параллельные перемещения дислокаций вдоль кристаллографических плоскостей, наиболее плотно заполненных атомами. Как известно из металловедения, дислокации представляют собой дефект кристаллической решётки в виде края прерванной плоскости кристалла, которую изгибаясь, обтекают с обеих сторон целые плоскости. При деформации кристалла дислокация перемещается от плоскости к плоскости как в эстафете передаётся палочка. Здесь целая плоскость разрывается и её одна часть соединяется с дислокацией, образуя целую плоскость, а обрыв другой её части продолжает движение как вновь образованная дислокация. Таким образом, перемещение объёма металла происходит одновременно в виде эстафетного движения, а не сразу по всей плоскости скольжения одной части кристалла относительно другой. Дислокация смещается последовательно микроскачком с одновременным её исчезновением и образованием новой дислокации. Рассматривая кристалл в целом следует отметить, что его пластическая деформация скольжением складывается из множества микроскачков отдельных дислокаций по различным плоскостям скольжения и образования новых дислокаций.

Двойникование также является результатом движения дислокаций и представляет собой поворот части монокристалла относительно плоскости двойникования в зеркально обратное положение. После двойникования части кристал-

ла оказываются симметрично расположенными относительно плоскости двойникования.

Пластическая деформация поликристаллических тел осложнена их многозернистым строением. Она начинается в отдельных зёрнах и складывается из пластического скольжения внутри зёрен (внутрикристаллитных сдвигов), поворотов, вытягивания и дробления зёрен на более мелкие объёмы (блоки), и ограниченных взаимных смещений зёрен (межкристаллитных сдвигов). Последние при значительных степенях деформации нежелательны, так как могут вызывать разрушение металла.

Пластическое деформирование металла происходит на основе определённых закономерностей. Объём пластически деформируемой металлической заготовки остаётся неизменным. Имея возможность перемещаться в разных направлениях, металл течёт главным образом в сторону наименьшего сопротивления. Усилия и работа, затрачиваемые на пластическую деформацию двух геометрически подобных тел различных размеров при подобных условиях процесса деформации, пропорциональны соответственно площадям поперечных сечений (нормальных к деформирующему усилию) и объёмам этих тел.

Пластическое течение металла начинается в то время, когда касательные напряжения (напряжения, действующие в плоскости сдвига), действующие в наиболее благоприятно расположенной плоскости скольжения, достигают определённой величины, зависящей от свойств металла и условий деформации. Величина пластической деформации для горячего металла может быть весьма значительной, а для холодного возможна лишь в определённых небольших пределах из-за явления упрочнения металла — наклёпа.

Наклёп и рекристаллизация металла. Холодная пластическая деформация вызывает образование первичной (строчечной) волокнистой микроструктуры металла с сохранением формы вытянутых в направлении деформации зёрен металла и физическое упрочнение, или наклёп, ме-

металла за счёт образования новых дислокаций, дробления зёрен и искривления плоскостей скольжения.

Наклёп вызывает увеличение твёрдости металла, пределов прочности и текучести и резкое снижение его пластичности.

Повышение сопротивления металла деформированию при наклёпе и падение его пластических свойств объясняются резким увеличением плотности дислокаций и постепенным исчерпанием возможностей их перемещений внутри кристаллов. Наклёп при холодной обработке давлением не позволяет осуществлять значительные деформации в связи с опасностью разрушения металла.

Наклёп металла устраняют термообработкой — рекристаллизационным отжигом, при котором снижается плотность дислокаций и металл восстанавливает свою пластичность и остальные начальные свойства.

При небольших температурах нагрева холоднодеформированного металла (выше $0,3T_{пл}$, где $T_{пл}$ — абсолютная температура плавления металла) происходит снятие остаточных напряжений, искажений кристаллической решётки и взаимное уничтожение линейных дислокаций различных знаков за счёт возросшей подвижности атомов, однако волокнистая микроструктура металла остаётся неизменной. Это явление называется возвратом, так как оно вызывает частичный возврат пластических свойств и снижение хрупкости металла.

При более высоких температурах нагрева (выше $0,4 T_{пл}$) начинается процесс рекристаллизации металла, при котором происходит полное перерождение волокнистой микроструктуры, окончательное восстановление искажённой кристаллической решётки и физико-механических свойств металла. На границах старых, вытянутых зёрен возникают новые центры кристаллизации в виде мельчайших кристаллов, постепенно растущих с повышением температуры равномерно во всех направлениях и создающих обычную, равноосную структуру металла с пониженной плотностью дислокаций.

Процесс рекристаллизации протекает не мгновенно, а с некоторой скоростью, зависящей от температуры нагрева металла и степени имевшейся деформации. Чем выше температура и степень предварительной деформации, тем выше и скорость рекристаллизации.

Абсолютной температурой рекристаллизации T_p называют ту низшую температуру нагрева металла, при которой в доступное для измерения время может происходить рекристаллизация. Для $T_p \geq 0,4 T_{пл}$. Температуры рекристаллизации некоторых металлов составляют: вольфрама 1210 °С, железа 450 °С, меди 270 °С, алюминия и магния 150 °С, свинца и цинка 0 °С.

Таким образом, обработка металла давлением при повышенных температурах сопровождается одновременным действием противоположно направленных процессов упрочнения и разупрочнения (возврата и рекристаллизации). В зависимости от того, какие из этих процессов являются преобладающими, обработка давлением подразделяется на холодную, неполную холодную, неполную горячую и горячую.

Холодная деформация характеризуется интенсивным наклёпом металла, строчечной микроструктурой, полным отсутствием возврата и рекристаллизации.

При неполной холодной деформации отсутствует рекристаллизация, но протекает процесс возврата. Металл имеет полосчатую микроструктуру без следов рекристаллизации.

При неполной горячей деформации рекристаллизация протекает неполностью. Металл получает два типа микроструктур: рекристаллизованную (с равноосными зёрнами) и нерекристаллизованную (с вытянутыми зёрнами). Наличие неоднородной структуры приводит к уменьшению пластичности металла и появлению значительных остаточных напряжений, которые могут вызвать даже разрушение металла под действием внешних нагрузок.

Такая деформация обычно имеет место при температурах нагрева металла, мало превышающих температуру начала его рекристаллизации, и при повышении скорости де-

формации, когда разупрочнение не успевает пройти полностью. Таким образом, неполная горячая деформация обуславливает низкое качество продукции, и её следует избегать, особенно для некоторых алюминиевых и магниевых сплавов, имеющих малую скорость рекристаллизации и потому деформируемых с небольшими скоростями, например прессованием на гидравлических прессах.

Горячая деформация характеризуется полным разупрочнением металла в результате рекристаллизации по всему объёму деформируемой заготовки. Она осуществляется при температурах нагрева, превышающих температуру начала рекристаллизации в тем большей степени, чем выше скорость деформации. Металл имеет равноосную микроструктуру, без всяких следов упрочнения, но волокнистое его строение сохраняется.

Учитывая сказанное выше о скоростях рекристаллизации и деформации, горячую обработку давлением практически осуществляют при температурах не ниже $0,6T_{пл}$, чтобы обеспечить быстрое разупрочнение металла и его полную рекристаллизацию даже в промежутке между двумя последовательными ударами молота.

Влияние горячей деформации на структуру и свойства металла. Структура слитка характеризуется наличием крупных дендритных кристаллов первичной кристаллизации, по границам которых расположены неметаллические примеси серы, фосфора, окислов и карбидов в виде плёнок или малоразмерных включений.

Деформирование литой структуры прокаткой, ковкой и прессованием приводит к дроблению кристаллов и вытягиванию их в направлении наибольшей деформации (вытяжки). Одновременно с этим вытягиваются и дробятся межкристаллитные прослойки (оболочки зёрен) с неметаллическими включениями, принимая форму пучков волокон при больших степенях деформации. Иначе говоря, в результате горячей деформации в металле возникает видимость волокнистого строения. В промежутки времени между об-

жатыми металла бойкамі молотка ілі валкамі прокатна-
го стана прайсходзіць рекрысталізацыя металла с абразова-
нем мелкіх раўнаосных зёрен, якія застаюцца в выця-
нутых оболочках первичных крысталлітаў. Такім абразом,
несмотря на поўное перарождзенне саміх зёрен іх первона-
чальная выцянутасць (валокністасць) застаецца поўна неіз-
меннай.

Образованне валокністай макроструктуры прыводзіць к
анізатропіі механічных свайстваў металла, якая праяв-
ляецца тэм сілней, чым больш ступень дэфармацыі.

В якасстве паказатэля ступені дэфармацыі пры выцяж-
ке слітка коўкай ілі прокаткай прымаюць адношэнне
ісходнай плошчы папярэчнага сечэння слітка F_n к канеч-
наму (ілі текущему) ёй значэнню F_k пасля выцяжкі. Эту
велічыну $y = F_n / F_k$ называюць *уковам*.

На аснове опытных даных, атрычаных пры коўке круп-
ных сліткаў, устаноўлена, што уков аказывае значытель-
нае ўплыванне на адноснае удліненне δ і ударную вяз-
касць a_n , не змяняючы суттэсна прадэл прачнасці метал-
ла σ_b . Пры ўзвешчэнні ступені дэфармацыі да чатырх-,
пятікратнага укова значэння паказатэляў δ і a_n інтэнсыв-
на ўзвешчваюцца в продольном напраўленні і ўменьша-
юцца в папярэчным. Далейшае ўзвешчэнне укова да 10
вызывает саответствэнна незначытельнае ўзвешчэнне гэтых
паказатэляў в продольном напраўленні і ўменьшэнне — в
папярэчным.

Валокністасць структуры металла і анізатропія меха-
нічных свайстваў, вознікаючыя пры гарачэй дэфармацыі,
являюцца стойкімі і не ўстраняюцца паследуючай термі-
ческой абработкай. Ізмененне напраўлення валокнісці
структуры металла в іздэллі можна абеспечыць толькі по-
вторнай гарачэй дэфармацыяй.

В прайзводственных ўсловах процэс дэфармацыі ре-
комендуецца весті такім абразом, чобы вознікаючыя во-
локна макроструктуры былі располжэны в напраўленні
максимальных нормальных (растягываючых ілі сжымаю-

щих) напряжений. Направление касательных (срезающих) напряжений должно быть направлено перпендикулярно волокнам.

Внешние нагрузки должны изгибать, а не расщеплять волокна металла. Кроме того, волокна при изготовлении заготовки и готовой детали не должны перерезаться, а должны огибать контур детали. Например, в поковках шестерён волокна должны располагаться в радиальных направлениях, чтобы обеспечить максимальное сопротивление зуба внешней изгибающей нагрузке. Радиальное расположение волокон обеспечивается осадкой круглого проката, стоящего торцом на бойке молота или пресса. Получение заготовки в виде диска в дальнейшем позволяет удалить зону ликвации в центре заготовки при обработке отверстия, т.е. повысить качество материала.

Детали типа коленчатых валов и крюков получают гибкой в подкладных штампах. Изготовление крупных ответственных валов (роторов турбин и генераторов из стальных слитков) осуществляют ковкой, чередуя процессы осадки и вытяжки слитка с целью получения одинаковых механических свойств в продольном и поперечном направлениях.

Влияние отдельных факторов на процесс обработки давлением. Пластичность металла зависит от его химического состава, температуры нагрева, скорости и степени деформации, условий трения на поверхности контакта металла и инструмента, а также схемы напряжённо-деформированного состояния.

Различные металлы и сплавы обладают неодинаковой пластичностью. Литой металл в виде слитков обладает меньшей пластичностью, чем металл, подвергнутый горячей деформации. Металл, имеющий крупнозернистую структуру, менее пластичен, чем мелкозернистый. Чистые металлы более пластичны, чем сплавы.

Нагрев металла вызывает значительное повышение его пластичности и снижение сопротивления деформированию

за исключением небольшого температурного интервала хрупкости (300...400 °С для стали). Сопротивление металла деформированию при горячей обработке давлением снижается в 15...20 раз, что позволяет применять менее мощные машины при обработке давлением.

Повышение скорости деформации, под которой понимают изменение степени деформации в единицу времени, приводит обычно к повышению сопротивления металла деформированию и снижению его пластичности. Объясняется это тем, что процесс рекристаллизации не успевает завершиться при больших скоростях деформации и наблюдается явление упрочнения металла. Поэтому для получения одной и той же деформации заготовки под молотом приходится затрачивать большую работу и усилия, чем при ковке её под прессом.

Влияние схемы объёмно-напряжённого состояния на пластичность металла. Схема объёмно-напряжённого состояния, под которой понимают величину и направление главных напряжений, действующих на элементарный объём металла в зоне деформации, оказывает существенное влияние на пластичность металла и сопротивление его деформированию.

Большинство процессов обработки металлов давлением протекает в условиях объёмно-напряжённого состояния под действием трёх главных напряжений того или иного знака.

Чем меньшую роль в схеме играют растягивающие напряжения и чем большую роль играют сжимающие, тем большую способность к пластической деформации проявляет металл.

Из девяти теоретических схем практически возможны четыре схемы объёмно-напряжённого состояния (рис. 2.2), изображённые в порядке возрастания пластических свойств металла:

- *схема 1* — всестороннее равномерное растяжение, при котором главные напряжения σ_1 , σ_2 , σ_3 равны друг другу. В этом случае пластические деформации не-

возможны, так как эта схема приводит к полному отсутствию сдвигающих напряжений;

— *схема 2* — двустороннее растяжение и одностороннее сжатие — характеризуется весьма низкой пластичностью, ограниченными возможностями деформации;

— *схема 3* — двустороннее сжатие и одностороннее растяжение — характеризуется низкой пластичностью, возможными небольшими степенями деформации. Такая схема имеет место при волочении проволоки, когда растягивающее напряжение создаётся клещевым захватом;

— *схема 4* — всестороннее неравномерное сжатие; в этом случае $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ или $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Такая схема обеспечивает наивысшую пластичность металла; она имеет место при ковке (особенно в вырезных бойках и обжимках), прессовании профилей, прокатке в калибрах, штамповке в закрытых штампах и других процессах обработки с ограниченным стенками инструмента течением металла. При этом появляются интенсивные сжимающие напряжения, позволяющие производить указанными способами деформацию малопластичных металлов и сплавов, не опасаясь их разрушения.

При равенстве сжимающих напряжений $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ (схема всестороннего равномерного сжатия) пластическая деформация становится невозможной.

Контактное трение. При обработке металлов давлением на поверхностях контакта обрабатываемого металла и инструмента действуют значительные силы трения.

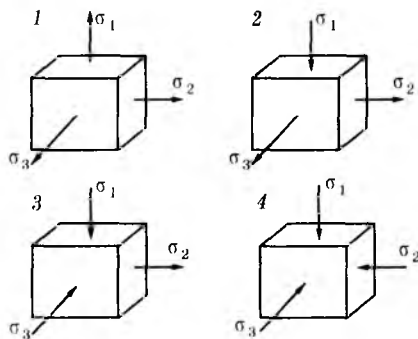


Рис. 2.2. Схемы напряжённого состояния при обработке металлов давлением

Их называют силами внешнего трения. Действие сил внешнего трения вызывает появление объёмно-напряжённого состояния металла. Противодействуя пластическому течению металла, силы внешнего трения вызывают увеличение деформирующих усилий, способствуют износу инструмента.

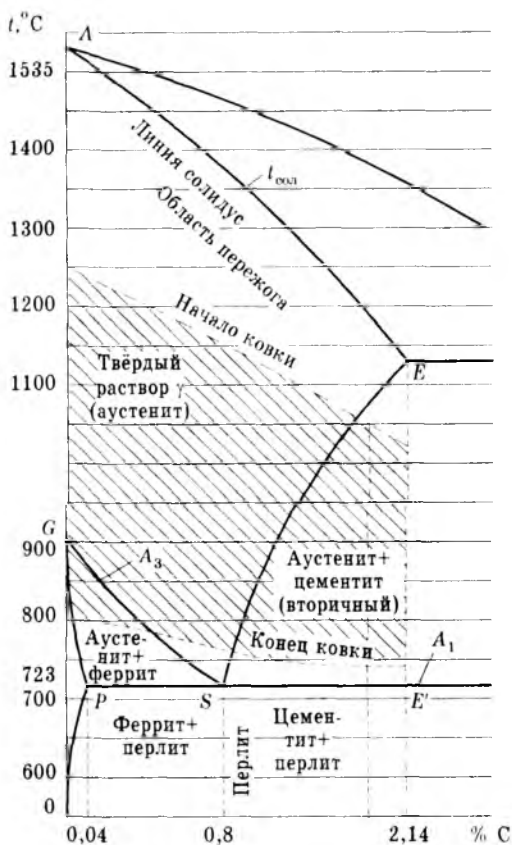
Применение специальных смазок позволяет понизить усилие деформирования на 15...20 % и повысить срок службы инструмента.

Силы трения иногда используют для управления процессом пластического течения металла, например для создания препятствий, затрудняющих течение металла в нежелательных направлениях, для захвата заготовки валками при прокатке и т.п.

2.2. Термический режим обработки заготовок

Металлы и сплавы перед обработкой давлением нагревают до определённой температуры для повышения их пластичности и уменьшения сопротивления деформации. Эту температуру называют температурой начала горячей обработки давлением. Однако в процессе обработки температура металла понижается. Минимальная температура, до которой можно производить обработку, называется температурой окончания обработки давлением. Область температур между началом и окончанием обработки, в которой металл или сплав обладает наилучшей пластичностью, наименьшей склонностью к росту зерна и минимальным сопротивлением деформации, называют температурным интервалом горячей обработки давлением. Температуру начала и конца горячего деформирования определяют в зависимости от температуры плавления и рекристаллизации: начальная температура должна быть ниже температуры плавления, а конечная — выше температуры рекристаллизации. Например, для углеродистой стали температуру начала горячего деформирования выбирают по диаграмме

состояния железо-углерод (рис. 2.3) на 150...200 °С ниже температуры начала плавления стали заданного химического состава (температуры, соответствующей линии солидус). Температуру конца деформирования углеродистых сталей принимают на 25...50 °С выше нижней критической точки A_1 (линия $S-E'$). На диаграмме конец горячего деформирования обозначен штриховой линией, ограничивающей снизу область горячей обработки давлением. Данная область на рисунке 2.3 заштрихована.



2.3. Схема выбора температурного интервалаковки стали по диаграмме состояния железо-углерод

Температура конца деформирования может быть принята на 50...100 °С выше температуры рекристаллизации или определена по эмпирической формуле $t_R = 100 (9,1...1,1 C) ^\circ\text{C}$, где C — содержание углерода в процентах.

Цветные металлы и сплавы имеют меньшие температуры плавления, чем у сталей и соответственно ниже, чем у них расположенные критические точки. Температурные интервалы горячего деформирования цветных металлов и сплавов находятся в области более низких температур. Например, медь имеет температурный интервал от 1000 до 800 °С; для латуни ЛС 59-1 он составляет от 800 до 650 °С; для бронзы Бр АЖ 9-4 — от 900 до 700 °С; для алюминиевого сплава АК — 8 от 450 до 350 °С; для магниевового сплава МА 2 — от 450 до 350 °С.

Желательно, чтобы в температурном интервале обработки давлением металл находился в однофазном состоянии. В двух- или многофазном состоянии при низкой пластичности одной из фаз при обработке давлением возможно образование трещин. Исключение составляют углеродистые доэвтектоидные стали, которые при температурах двухфазного состояния между линиями GS и PS обладают достаточной пластичностью. Достаточную пластичность имеют и заэвтектоидные стали при температуре выше 750 °С, имеющие в своей структуре в диапазоне температур между линиями ES и SE' аустенит и вторичный цементит. Вторичный цементит располагается по границам зёрен аустенита и поэтому снижает пластичность. Однако при обработке давлением эта сетка разрушается и пластичность повышается.

Температурный интервал обработки сплавов зависит от их химического состава. По диаграмме железо-углерод видно, что с увеличением количества углерода в стали температурный интервал обработки сужается. Особенно резко при этом снижается температура начала обработки. При нагреве металлов и сплавов выше температуры начала горячей обработки происходит интенсивный рост аустенитного зерна, которое становится тем больше, чем длиннее выдержка

при высокой температуре. Сталь с такой крупнозернистой структурой называют перегретой, и она имеет пониженную пластичность при обработке давлением.

Перегрев является исправимым дефектом нагрева. Его можно устранить до обработки давлением отжигом или нормализацией. При дальнейшем повышении температуры нагрева происходит расплавление легкоплавких компонентов сплава, расположенных по границам зёрен, и их усиленное окисление. Окисление этих границ кислородом, содержащимся в составе печных газов, вызывает явление, называемое пережогом. Пережог представляет собой — неисправимый брак. Он приводит к полной потере пластичности металла.

На поверхности металла образуется окалина, состоящая из окислов железа. Угар металла при нагреве в пламенных печах составляет 2,5...3 % и 1,5 % при каждом подогреве. Окалина, являясь твёрдым веществом, увеличивает износ инструмента. Одновременно с окалинообразованием протекает процесс обезуглероживания — выгорание углерода в поверхностном слое заготовки. Обезуглероженный слой металла необходимо полностью удалять при обработке резанием.

Нагрев должен обеспечить равномерное распределение температуры по сечению и длине заготовки, минимальные обезуглероживание и образование окалины. Холодные слитки и заготовки, загруженные в печь, нагреваются неравномерно. Вначале нагревается их наружный слой, а затем за счёт теплопроводности металла — все сечение. Наружные слои, нагретые до более высокой температуры, расширяются больше, чем внутренние, поэтому в наружных слоях появляются температурные напряжения сжатия, а во внутренних — растяжения. Если напряжения растяжения достигнут предела прочности металла, то в нём возникнут трещины. С повышением температуры пластичность металла повышается и опасность появления трещин исчезает, так как термические напряжения приводят к пластической деформации металла, а сами напряжения уравниваются.

Во избежание образования трещин металл необходимо нагревать с определённой скоростью. Скорость нагрева представляет собой величину повышения температуры металла в градусах Цельсия за единицу времени. Скорость нагрева до заданной температуры зависит от теплопроводности и теплоёмкости металла, размеров и формы заготовок, характера их расположения в печи. Теплопроводность стали зависит от температуры, химического состава и состояния металла. Легированные стали имеют меньшую теплопроводность, чем железоуглеродистые сплавы, но теплопроводность их в литом состоянии ниже, чем в деформированном, поэтому легированные стали и стали в литом состоянии (слитки) нагревают обычно медленнее.

Теплоёмкость зависит от температуры и вида металла (например, железо, медь и т.п.), а для сплавов — от их химического состава. Легированные стали имеют более высокую теплоёмкость, чем углеродистые. С повышением температуры теплоёмкость металлов и сплавов возрастает и достигает наибольшего значения в области температур структурных превращений. Чем больше теплоёмкость, тем длительнее процесс нагрева.

Заготовки из проката, а также кованые заготовки с диаметром или стороной квадрата до 100 мм из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей загружают в печи, рабочее пространство которых может иметь температуру на 100...150 °С более высокую, чем требуемая температура нагрева металла. Такие заготовки нагревают с максимальной скоростью, допускаемой печью.

Крупные стальные слитки и заготовки поступают на нагрев либо в холодном, либо в горячем состоянии. Холодными считают слитки, имеющие температуру на поверхности ниже 650 °С, а горячими — выше 650 °С. Режим нагрева холодных слитков и заготовок состоит из двух периодов. Первый период — нагрев в области низких температур (до 700...800 °С), второй — нагрев в области высоких температур (выше 700...800 °С). В первом периоде на-

грева сталь обладает малой пластичностью, и во избежание образования трещин нагрев производят медленно. В конце первого периода в наружных слоях слитков или заготовок, достигших температуры критической точки для данной стали, происходят структурные превращения, сопровождающиеся уменьшением объёма. Благодаря этому в наружных слоях снимаются температурные напряжения. Для обеспечения полноты структурных превращений по сечению слитка или заготовки в конце первого периода даётся выдержка. Во втором периоде нагрева теплопроводность и пластичность металлов и сплавов увеличиваются, и нагрев ведут с максимальной скоростью, допускаемой печью. Горячие слитки и заготовки нагревают также с максимально возможной скоростью. Первый период — нагрев в области низких температур (до 700...800 °C), второй — нагрев в области высоких температур (выше 700...800 °C). В первом периоде нагрева сталь обладает малой пластичностью, и во избежание образования трещин нагрев производят медленно. В конце первого периода в наружных слоях слитков или заготовок, достигших температуры критической точки для данной стали, происходят структурные превращения, сопровождающиеся уменьшением объёма. Благодаря этому в наружных слоях снимаются температурные напряжения. Для обеспечения полноты структурных превращений по сечению слитка или заготовки в конце первого периода даётся выдержка. Во втором периоде нагрева теплопроводность и пластичность металлов и сплавов увеличиваются, и нагрев ведут с максимальной скоростью, допускаемой печью. Горячие слитки и заготовки нагревают также с максимально возможной скоростью.

2.3. Нагревательные устройства

Нагревательные печи служат для нагрева заготовок под обработку давлением. В них теплота к заготовке поступает из окружающего её нагретого рабочего пространства печи.

Нагревательные печи классифицируют по следующим основным признакам:

- 1) источнику энергии — пламенные, в которых теплоту получают за счёт химических реакций горения топлива, и электрические печи;
- 2) назначению — кузнечные печи и печи прокатного производства;
- 3) принципу действия — камерные и методические.

Пламенные печи дополнительно классифицируют по роду применяемого топлива, по способу использования теплоты отходящих газов (печи рекуперативные и регенеративные) и по степени механизации.

В настоящее время твёрдое топливо для сжигания в печах практически не используют. Сжигание жидкого или газообразного топлива и нагрев металла осуществляются в рабочем пространстве печи. Снизу оно ограничено подом, на котором располагают нагреваемые заготовки, с боков — стенками печи, на которые опирается свод, замыкающий верхнюю часть рабочего пространства. В стенках печи имеются одно или два окна для загрузки холодных и выгрузки нагретых заготовок. Отработанные печные газы отводятся из рабочего пространства в дымовую трубу. Нагрев заготовок и слитков перед обработкой давлением производят в горнах, камерных и методических печах.

Горны отличаются от нагревательных печей небольшими размерами, отсутствием топок и камер для нагреваемых заготовок. Горны отопливаются обычно каменным углем или коксом и нагрев металла в них производится при непосредственном контакте с топливом. К недостаткам горнов относятся их низкий КПД 5...6 %, большой расход топлива (до 100 % от веса нагреваемого металла) и др. Поэтому горны используются лишь для нагрева мелких заготовок при ручной ковке.

Камерные печи имеют одинаковую температуру по всему рабочему пространству и относятся к печам периодического нагрева. Заготовки загружают в них определённые

ми партиями (садками) через рабочее окно на под печи, где они остаются неподвижными в течение всего периода нагрева. Поштучная выгрузка нагретых заготовок производится через то же рабочее окно. Эти печи применяются в кузнечно-прессовых цехах, их КПД составляет от 15 до 35 %.

Методические печи имеют постоянно повышающуюся температуру рабочего пространства от места загрузки заготовок к месту их выгрузки и являются высокопроизводительными печами непрерывного нагрева. Заготовки загружают в печь через небольшие промежутки времени с одного её конца и постепенно передвигают вдоль рабочего пространства из области низких температур в область высоких, навстречу потоку печных газов. Нагретые заготовки выдаются через окно на противоположном конце печи. Металл нагревается постепенно, методически, отсюда и произошло название печи.

Печи с вращающимся подом (карусельные) являются разновидностью методических печей и представляют собой как бы свёрнутую в кольцо конвейерную методическую печь.

Методические печи применяют в прокатных и кузнечно-штамповочных цехах, а также для нагрева слитков из цветных сплавов перед прессованием прутков и труб. КПД методических печей достигает 45...50 %.

Нагревательная печь любого типа состоит из следующих основных частей: металлического каркаса с кладкой из огнеупорного кирпича, образующей рабочее пространство (камеру) печи; устройства для сжигания топлива (топки, горелок или форсунок); дымоотводящих каналов и рабочих окон для загрузки и выгрузки металла, прикрываемых подъёмными чугунными дверцами, выложенными огнеупорным кирпичом. Кроме того, печь может иметь вспомогательные механизмы и устройства для облегчения труда нагревателей и для повышения экономичности её работы. К первым относятся механизмы для открывания и закрывания дверей печи, посадочные машины и приспособления для загрузки и выгрузки тяжёлых заготовок, толка-

тели заготовок в методических печах. Ко вторым относятся теплообменные аппараты — рекуператоры и регенераторы, использующие тепло отходящих газов для подогрева воздуха и горючих газов, вдуваемых в печь.

Печи прокатных цехов. Для подогрева крупных слитков, поступающих из сталелитейного цеха после разливки стали ещё неостывшими (с температурой 700...800 °С), перед прокаткой их на обжимных станах — блюмингах и слябингах применяются нагревательные колодцы, которые делятся на пламенные (отапливаемые газом) и электрические. Последние снабжены нагревательными элементами, по которым пропускается ток. Нагревательные колодцы являются разновидностью камерных печей.

Пламенные нагревательные колодцы в зависимости от способа использования тепла отходящих газов делятся на регенеративные и рекуперативные. В регенеративных колодцах производится периодический подогрев воздуха и газа до 750...850 °С в двух парах регенераторов, аналогичных по устройству и принципу действия регенераторам ранее использовавшимся мартеновских печей. В рекуперативных колодцах производится непрерывный нагрев холодного воздуха, вдуваемого в камеру колодца, до 750...900 °С.

Рекуператоры состоят из системы керамических труб, внутри которых проходят раскалённые отходящие газы. Эти газы нагревают стенки труб и отдают своё тепло потокам холодного воздуха, проходящего в поперечном направлении и омывающего внешнюю поверхность труб.

Нагрев небольших слитков и обжатых болванок перед прокаткой их на сортопрокатных рельсобалочных и проволочных станах производится в методической печи, изображённой на рисунке 2.4.

Заготовки подаются в печь через посадочное окно 7 и периодически передвигаются толкателем справа налево по двум глиссажным трубам 8, охлаждаемым изнутри водой. Вначале холодные заготовки проходят зону подогрева 4, имеющую у загрузочного окна температуру 500...600 °С,

постепенно повышающуюся до $900...1000^{\circ}\text{C}$ при переходе к следующей зоне методического нагрева 3. В этой зоне температура рабочего пространства повышается до 1200°C . Далее заготовки поступают в сварочную зону 2, температура в которой достигает $1300...1350^{\circ}\text{C}$. Нагретые заготовки выталкиваются через окно 1 и попадают на рольганг, транспортирующий их к прокатному стану. Печь оборудована газовыми горелками 9 и 10, пламя которых сверху и снизу нагревает заготовки, лежащие вплотную одна к другой на трубах. Продукты горения направляются от горелок навстречу заготовкам, отдают значительную часть своего тепла металлу и через каналы 6 попадают в рекуператоры 5, а оттуда в дымовую трубу.

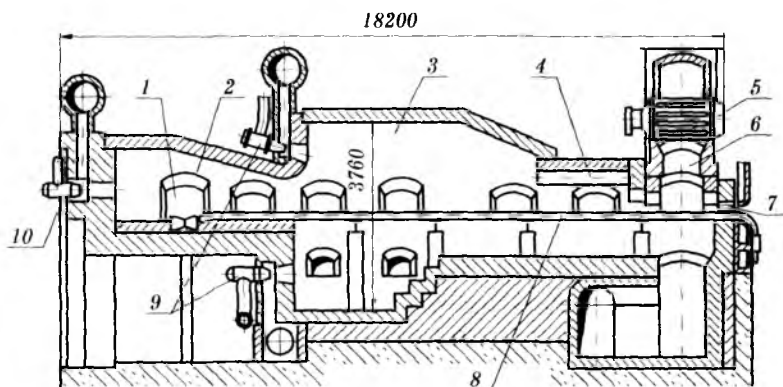


Рис. 2.4. Методическая нагревательная печь:

- 1 — окно для выталкивания заготовок; 2 — сварочная зона;
- 3 — зона методического нагрева; 4 — зона подогрева;
- 5 — рекуператоры; 6 — газовые каналы; 7 — посадочное окно (для заготовок); 8 — глиссажные трубы;
- 9, 10 — газовые горелки

Основными экономическими показателями работы печей являются их производительность и удельный расход топлива.

Производительность определяется напряжённостью пода печи, т.е. количеством нагретого металла в тоннах, снима-

емого с 1 м^2 площади пода за 1 ч или сутки. Напряжённость пода нагревательных колодцев составляет $30...70 \text{ т/м}^2$, а в методических печах достигает $25...35 \text{ т/м}^2$ в сутки. Удельный расход условного топлива в рекуперативных колодцах и методических печах составляет $4,5...6 \%$ от массы нагреваемого металла. При отсутствии использования тепла отходящих газов расход топлива повышается примерно вдвое.

Кузнечные печи. В кузнечно-прессовых цехах свободнойковки и кузнечно-штамповочных цехах применяют камерные печи различных типов и механизированные печи с принудительным перемещением заготовок по рабочему пространству печи: полуметодические с толкателями, карусельные с вращающимся подом и конвейерные.

Стационарная камерная печь с выдвижным подом используется для нагрева стальных слитков массой до 100 т и более перед ковкой их на гидравлических прессах. Под печи представляет собой стальную платформу площадью до 40 м^2 , выложенную огнеупорным кирпичом, на которую мостовым краном укладывается слиток. Эта платформа закатывается в камеру печи по рельсам цепью, наматываемой на барабан лебёдки. После длительного нагрева металла платформа с нагретым слитком выкатывается из печи и слиток подаётся краном на бойки пресса под ковку.

Однокамерные печи переносного типа для мелких заготовок, отапливаемые мазутом или газом, оборудованы рекуператором типа «термоблок» с отводом продуктов горения вверх. Такие печи имеют площадь пода от $0,35$ до $1,1 \text{ м}^2$.

Из механизированных печей наиболее широко в цехах горячей штамповки применяются полуметодические и карусельные печи.

Полуметодические печи имеют длину рабочего пространства меньшую, чем методические, и кроме толкающего механизма часто снабжаются бункером (магазином) для непрерывного питания печи заготовками.

Напряжённость пода кузнечных камерных печей составляет $300...500 \text{ кг с } 1 \text{ м}^2$ в час, полуметодических и кару-

сельных — 400...600 кг. Расход условного топлива для камерных печей составляет 10...30 %, а для полуметодических и карусельных 5...12 % веса нагреваемого металла.

Повышение эффективности работы нагревательных печей обеспечивается: утилизацией тепла отходящих газов и тепловой изоляцией печей; рациональной загрузкой печей заготовками; интенсификацией процессов нагрева за счёт применения печей скоростного нагрева; применением печей безокислительного нагрева; автоматизацией работы нагревательных устройств.

Утилизация тепла газов, выходящих из печи с температурой 1000...1200 °С, осуществляется в рекуператорах или регенераторах для подогрева вдуваемого в печь воздуха или газа. При этом КПД печи повышается до 35...45 % и достигается экономия топлива на 25...35 %.

Тепловая изоляция стенок и свода печи легковесным пористым кирпичом, специальными обмазками из асбеста и другими нетеплопроводными материалами обеспечивает дополнительную экономию топлива и создаёт более благоприятные условия труда в цехе.

Рациональная загрузка камерных печей определённым расчётным количеством заготовок, согласованным по времени нагрева с производительностью ковочно-штамповочного агрегата, обеспечивает ровный темп работы и отсутствие простоев оборудования в ожидании нагрева металла. Для этого взамен выданной из печи нагретой заготовки подкладывается одна холодная, чем и обеспечивается непрерывность нагрева.

Скоростной нагрев в газовых печах особой конструкции, имеющих температуру 1400...1500 °С и температурный перепад между рабочим пространством печи и нагреваемым металлом 200...400 °С вместо обычного 50...100 °С, даёт повышение скорости нагрева в 3...4 раза с соответствующим повышением производительности печи. При этом в 2...3 раза уменьшаются окалинообразование, обезуглероживание и рост зёрен нагреваемой стали.

Безокислительный нагрев позволяет свести до минимума потери металла на угар (до 0,5...1 %) и экономить ежегодно значительное количество стали.

В обычных пламенных печах, работающих с коэффициентом избытка воздуха $\alpha \approx 1,2...1,3$, при отсутствии восстановительных газов CO и H₂, атмосфера всегда носит окислительный характер, что вызывает значительное окалинообразование стали при нагреве. При прокатке и ковке стальные заготовки часто нагревают несколько раз. При этом суммарные потери металла в окалину (угар) достигают 6 % и более от массы нагреваемого металла.

Безокислительный нагрев обеспечивает также высокое качество поверхностей деталей, изготавливаемых горячим деформированием, благодаря почти полному отсутствию окалины и обезуглероженного слоя. Такие условия позволяют широко применять точную горячую штамповку для изготовления поковок в виде готовых изделий или фасонных заготовок с минимальными припусками на механическую обработку.

В печах с открытым пламенем безокислительный нагрев осуществляется при неполном сжигании топливовоздушной смеси с коэффициентом расхода воздуха $\alpha \approx 0,4...0,6$ и при высоком подогреве воздуха — до 800...1000 °С. Он производится в печах, оборудованных регенераторами или рекуператорами.

В рабочей камере такой печи нагрев ведётся в восстановительной атмосфере с температурой до 1300...1400 °С при неполном сгорании топлива, что предупреждает окисление металла.

Продукты неполного сгорания дожигаются в регенераторах с насадкой из металлических шариков, обеспечивая высокий подогрев воздуха, подаваемого в горелки печи, и повышение её КПД до 35 %.

Печи имеют два комплекта горелок и воздухонагревателей, расположенных в двух противоположных стенках печи и попеременно автоматически включающихся по мере охлаждения одного из рекуператоров.

Автоматическое регулирование теплового режима печей позволяет улучшить качество нагрева металла, повысить производительность работы печей, снизить расход топлива на 10...20 %, сократить количество обслуживающего печь персонала и улучшить условия его труда. Главным в автоматическом регулировании является поддержание температуры и состава газовой атмосферы печи в заданных пределах.

Автоматизация режима работы печи по заданной программе достигается регулированием температуры рабочего пространства печи и нагреваемого металла, давления в печи с помощью термодатчиков, потенциометров, манометров и исполнительных механизмов. Такое регулирование обеспечивается воздействием регуляторов на системы подачи газа (мазута) и воздуха. Непрерывно ведётся корректировка атмосферы печи и коэффициента расхода воздуха на основе автоматического анализа дымовых газов.

Современные нагревательные печи постепенно оснащаются сложными приборами и системами автоматического регулирования, обеспечивающими программное управление работой печи.

Электронагревательные устройства. Электронагрев заготовок имеет значительные преимущества перед пламенным нагревом: уменьшение продолжительности нагрева в 8...10 раз, снижение потерь металла на угар в 5...6 раз (с 3 до 0,5 %) и улучшение качества поверхности поковок. Такие показатели процесса электронагрева позволяют уменьшить припуски металла и трудоёмкость последующей обработки поковок резанием, а также повысить стойкость штампов и других кузнечных инструментов благодаря значительному уменьшению их износа из-за окалины. Кроме того, при электронагреве достигается значительное улучшение условий труда благодаря отсутствию дыма, копоти и вредных газов, загрязняющих атмосферу цеха и окружающей среды, а также обеспечивается надёжное регулирование температуры и автоматизация процесса нагрева металла. Основные виды электронагрева — индукционный и контактный.

Индукционный нагрев. Сущность индукционного нагрева заключается в том, что через индуктор, представляющий собой катушку (соленоид) из витков медной трубки, в которой циркулирует вода для охлаждения, пропускается переменный ток повышенной или обычной промышленной частоты. В результате вокруг витков катушки возникает переменное магнитное поле индукции. Если в индуктор при этом помещена стальная заготовка, то в ней возникают вихревые токи, быстро разогревающие её до высокой температуры. Автоматизированная подача заготовок в индуктор осуществляется пневматическим толкателем.

Переменный ток, индуктируемый в заготовке, распределяется по её сечению неравномерно. Наибольшая плотность тока наблюдается в наружных слоях заготовки (поверхностный эффект).

Глубина слоя, в котором возникает индуктированный ток, зависит от частоты последнего; при низкой частоте ток проникает в тело заготовки на значительную глубину, а при высокой частоте сосредоточивается лишь в тонком слое на поверхности заготовки. Следовательно, заготовки большого диаметра целесообразно нагревать переменным током меньшей частоты, и наоборот.

Необходимую частоту тока можно определить по формуле:

$$f = \frac{3 \cdot 10^6}{d^2},$$

где f — частота тока в Гц;

d — диаметр заготовки в мм.

Практически для нагрева стальных заготовок $\varnothing 15...140$ мм применяют токи повышенной частоты 10000...500 Гц. Для заготовки $\varnothing 150...350$ мм применяется нагрев током промышленной частоты 50 Гц.

Индукционный нагрев применяется также для слитков из цветных металлов и сплавов — алюминия, латуни, никеля перед прокаткой, прессованием и штамповкой. Расход электроэнергии при индукционном нагреве составляет

0,4...0,5 кВт · ч на 1 кг нагреваемой стали и вполне окупается преимуществами, указанными выше.

Время нагрева составляет: для стальных заготовок $\varnothing$ 100 мм — 170...350 с, $\varnothing$ 200 мм — 420...480 с; для алюминиевого слитка $\varnothing$ 810 мм (перед прессованием) — около 35 мин.

Для индукционного нагрева применяются нагреватели периодического и непрерывного действия, с автоматической загрузкой и выгрузкой заготовок.

Контактный нагрев. К концам заготовки через медные контакты — зажимы подводится переменный ток большой силы (десятки тысяч ампер), напряжением от 1 до 12 В. Нагрев заготовки происходит за счёт её сопротивления прохождению тока. Количество выделенного при этом тепла очень велико и, согласно закону Джоуля-Ленца, равно $Q = I^2 RT$ Дж.

КПД контактной установки составляет 68...75 %, а расход электроэнергии 0,35...0,45 кВт · ч/кг. Время нагрева стальных заготовок $\varnothing$ 50 мм и $\varnothing$ 70 мм до температуры 1250 °С составляет соответственно 62 и 120 с.

Контактный нагрев применяют для стальных заготовок $\varnothing$ 16...70 мм.

В кузнечно-штамповочных цехах применяются электроконтактные высадочные и гибочные машины и полуавтоматы, в которых совмещены операции нагрева и деформации заготовки.

2.4. Прокатное производство, сортамент проката и его использование для заготовок деталей машин

2.4.1. Общие сведения

Прокатное производство является частью металлургического передела стали. Оно является одним из наиболее распространённых видов обработки металла после его выплавки. Около 90 % всей выплавленной стали и большая

часть цветных металлов и сплавов в мире подвергается обработке прокаткой.

В машиностроении главным образом используется продукция прокатного производства. Вместе с тем на крупных и средних машиностроительных заводах могут использоваться прокатные станы небольших размеров для производства специальной продукции, например, шнековых спиралей разных размеров или цилиндрических и конических обечаек и др.

Прокатка представляет собой вид обработки металлов давлением, где металл пластически деформируется вращающимися валками. Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными. Выделяют три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую (рис. 2.5).

При продольной прокатке (рис. 2.5, *а*) заготовка 2 деформируется между двумя валками 1, вращающимися в разные стороны, и перемещается перпендикулярно осям валков.

При поперечной прокатке (рис. 2.5, *б*) валки 1, вращаясь в одном направлении, придают вращение заготовке 2, которая, перемещаясь вдоль оси валков, деформируется.

При поперечно-винтовой прокатке (рис. 2.5, *в*) бочкообразные валки 1 расположены под углом друг к другу и сообщают заготовке 2 при деформировании вращательное и поступательное движения.

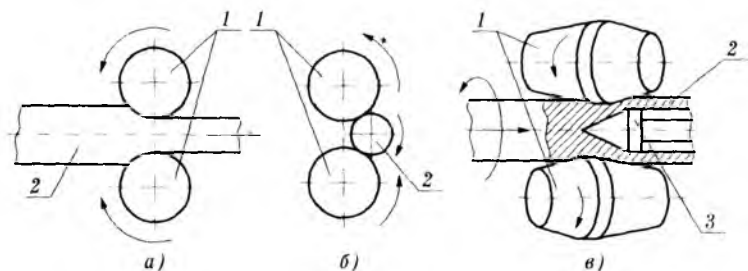


Рис. 2.5. Основные виды прокатки:
а — продольная; **б** — поперечная; **в** — поперечно-винтовая;
1 — валки; **2** — заготовка;
3 — прошивень на неподвижной оправке

Особенности деформирования металла при обжатии заготовки валками проще всего можно рассмотреть на схеме наиболее распространённой продольной прокатки. При всех схемах прокатки металл подвергается деформации только на некотором участке, который по мере вращения валков и движения заготовки вперёд как бы перемещается по прокатываемому металлу. В процессе прокатки уменьшается толщина заготовки при одновременном увеличении её длины и ширины. Площадь поперечного сечения заготовки в результате прокатки всегда уменьшается. Отношение длин заготовки до прокатки L и после неё L_0 , равное отношению первоначальной площади поперечного сечения S_0 к полученной S , называется коэффициентом вытяжки:

$$\mu = \frac{L}{L_0} = \frac{S_0}{S}.$$

Коэффициент вытяжки является одной из основных характеристик деформации при прокатке. Он равен величине 1,1...1,6 за один проход. Для прокатки обязательным условием является наличие контактного трения между валками и деформируемым металлом.

В начальной стадии прокатки должно быть выполнено так называемое условие захвата металла валками. Заготовка подаётся между валками с начальным усилием F , которое вызывает со стороны валков нормальную силу реакции N и тангенциальную (касательную) силу трения T (рис. 2.6). Если спроектировать эти силы на горизонтальную ось, то можно записать условие захвата за-

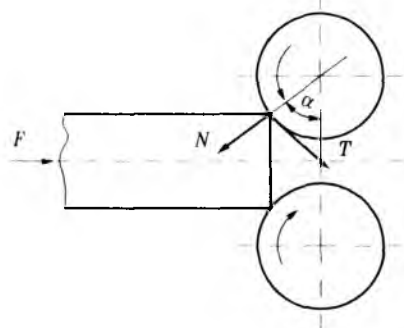


Рис. 2.6. Схема захвата заготовки прокатными валками:
 F — усилие подачи заготовки;
 N — нормальная сила реакции;
 T — сила трения; α — угол захвата

готовки прокатными валками (на схеме одним валком, так как система симметрична):

$$N \sin \alpha < T \cos \alpha.$$

Угол α называют углом захвата. Выразив силу трения T через нормальную силу реакции N и коэффициент трения f , т.е. $T = f \cdot N$, и подставив это выражение в условие захвата, получим: $\sin \alpha < f \cos \alpha$. Отсюда получим $f > \sin \alpha / \cos \alpha$ или $f > \operatorname{tg} \alpha$.

Отсюда можно сделать вывод: коэффициент трения между валками и заготовкой должен быть больше тангенса угла захвата. При горячей прокатке стальных заготовок гладкими валками угол захвата может составлять 15...24°. При прокатке крупных заготовок угол захвата может достигать 30°, при прокатке листов и полос угол α обычно составляет 15...20°, при холодной прокатке листов и лент со смазкой — 2...10°.

При прокатке учитывают, что скорость выхода прокатанного металла выше, чем скорость входа заготовки между валками, так как для достижения необходимой толщины проката по ходу движения проката устанавливают несколько устройств с расположенными в них парными валками — клетями.

2.4.2. Сортамент и применение проката

Исходным материалом для прокатки служат стальные слитки массой до 25 т, а также слитки из цветных металлов и сплавов массой до 3 т. *

Форму поперечного сечения прокатанного изделия называют его профилем.

Совокупность различных профилей разных размеров называют сортаментом проката. Сортамент стального проката делится на пять основных групп: сортовой прокат, листовой прокат, трубы, специальные виды проката и периодические профили.

Сортовой прокат делится на прокат простого и фасонного профиля (рис. 2.7). Первый используется как исходный материал для получения проката фасонного профиля,

и также как заготовка для кузнечного производства и механических цехов. Прокат фасонного профиля делится на профили общего назначения (угловая сталь, швеллеры, двутавровые балки и т.п.), используемые в строительстве, судостроении, машиностроении, и на профили специального назначения, используемые в сельхозмашиностроении, автостроении и других отраслях промышленности.

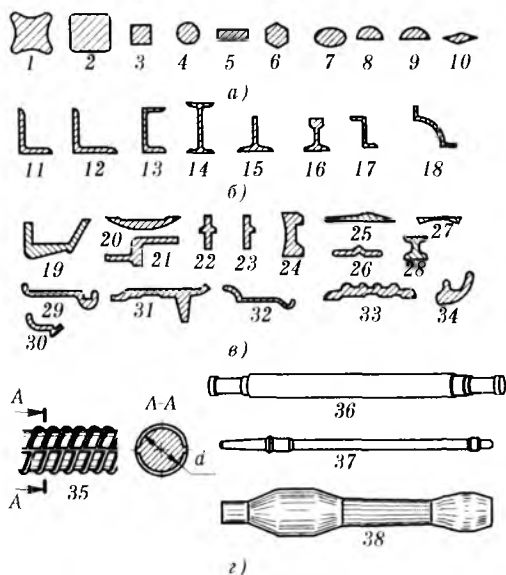


Рис. 2.7. Сортамент прокатанных изделий:

а — прокат простого профиля; *б* — прокат сложного профиля;
в — специальные виды проката; *г* — периодические профили проката

К сортовому прокату простого профиля (рис. 2.7, *а*) относятся: болванка стальная обжатая 1 (блумс) сечением от 140×140 до 450×450 мм, прокатываемая непосредственно из слитков на обжимных станах — блюмингах; заготовка прямоугольного сечения толщиной 100...250 мм и шириной 300...2000 мм, называемая слябом, прокатываемая на обжимных станах — слябингах и блюмингах; заготовка стальная квадратная 2, сечением от 40×40 до 250×250 мм;

сталь горячекатаная квадратная 3 и круглая 4 со стороной квадрата (или диаметром) от 5 до 250 мм; сталь полосовая 5, шестигранник 6, овал 7, полуовал 8, сегментная сталь 9 и ромбовидная 10.

К сортовому прокату фасонного профиля общего назначения (рис. 2.7, б) относятся: угловая сталь неравнобокая 11 и равнобокая 12, швеллер 13, тавровые и двутавровые балки 15 и 14, рельсы железнодорожные 16 широкой и узкой колеи, зетовая сталь 17 и квадратная 18.

Примеры фасонных профилей проката специального назначения приведены на рисунке 2.7, в (позиции 19-34).

Проволока-катанка прокатывается диаметром от 5 до 10 мм и выпускается в мотках массой до 220 кг. Более тонкая проволока получается волочением (рассматривается ниже в настоящем разделе).

Листовой прокат разделяется на толстолистовую и тонколистовую сталь.

Толстолистовая сталь прокатывается из обжатых слитков — слябов в виде листов толщиной 4...60 мм, шириной 600...5000 мм, длиной 4...12 м. Специальный толстый лист — броня имеет толщину до 400 мм. Тонколистовая сталь имеет толщину 0,2...3,75 мм при ширине листов 600...2200 мм; длина листов может быть мерной: например, кровельный лист и листы декапированной стали имеют размеры 710×1420 мм; наряду с этим тонкий лист выпускается в рулонах. Тонколистовая сталь выпускается многих сортов и марок. К ней относятся, например, сталь декапированная (отожженная и протравленная для удаления окалина), сталь оцинкованная, жёсть белая (покрытая оловом), жёсть чёрная полированная. Разновидностью тонколистовой стали является стальная лента.

Трубы стальные бесшовные прокатываются с наружным диаметром 51...650 мм и толщиной стенок 2,5...50 мм; при последующем горячем редуцировании получают трубы с минимальным диаметром 17 мм и толщиной стенки до 1,7 мм. Трубы сварные изготавливают с наружным диаметром до

1420 мм и толщиной стенок до 20 мм. Выпускают также для магистральных газопроводов сварные трубы диаметром до 2200 мм.

К специальным видам проката относятся вагонные колёса, бандажи, зубчатые колёса, шары для подшипников качения и пр.

Периодический прокат (рис. 2.7, *г*) применяется как фасонная заготовка для последующей штамповки или как заготовка под чистовую механическую обработку. Это прокат, поперечное сечение которого по длине прутка периодически меняется: например, заготовка вагонной оси 36, выпускавшаяся ранее полуось автомобиля «Москвич» 37, заготовка для штамповки шатуна двигателя автомашины 38, арматурная сталь 35, применяемая в изделиях из железобетона.

Кроме стального проката выпускается прокат цветных металлов и сплавов: меди, алюминия, латуни и др. в виде листов, ленты и проволоки. Стандартом установлены особые сортаменты для цветного проката.

2.4.3. Прокатные станы, их устройство и работа

Устройство прокатных станов. Основной частью прокатного стана (рис. 2.8) является рабочая клеть 12. В подшипниках 11 станины рабочей клетки вращаются рабочие валки 9 и 10. Вращение валкам передаётся от электродвигателя 1 через упругую муфту 2, редуктор 3, главную муфту 4, шестерённую клеть 5 и шпиндели 6 и 7.

Для соединения шпинделей с валами шестерённой клетки и валками рабочей клетки служат соединительные трёфовые муфты 8. Для уменьшения мощности двигателя и смягчения ударных нагрузок, возникающих при прокатке, на ведущем валу редуктора устанавливаются инерционные маховики. При обработке болванки число оборотов двигателя снижается, и маховик, принудительно уменьшая число оборотов, отдаёт часть запасённой в нём кинетической энергии. Во время пауз число оборотов двигателя повышается до нормального, и

маховик, разгоняясь, пополняет отданную энергию, т.е. вновь пополняет её запас. Маховики устанавливаются на станах с постоянным направлением вращения валков.

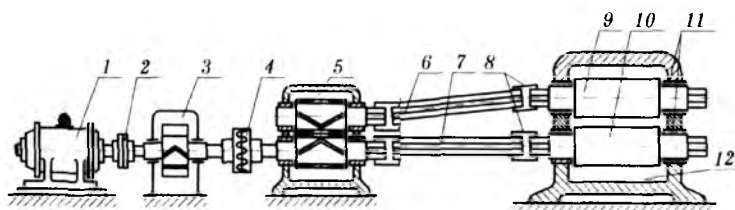


Рис. 2.8. Схема устройства прокатного стана:

- 1 — электродвигатель; 2 — упругая муфта; 3 — редуктор;
4 — главная муфта; 5 — шестерённая клеть; 6 и 7 — шпиндели;
8 — трещоточные муфты; 9 и 10 — рабочие валки; 11 — подшипники;
12 — рабочая клеть

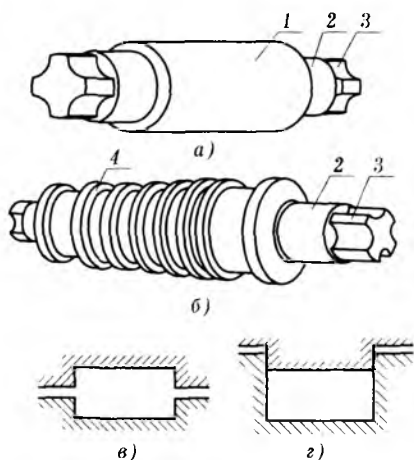


Рис. 2.9. Прокатные валки и типы калибров:

- а — гладкий валок для листа;
б — ручьевого валка для сортового проката; в — поверхность разреза открытого калибра; г — поверхность разреза закрытого калибра;
1 — гладкая бочка; 2 — шейки;
3 — трещины; 4 — ручьевая бочка

Прокатный валок (рис. 2.9) имеет рабочую часть 1, называемую бочкой, шейки 2, опирающиеся на подшипники станин клетки, и трещины 3, сечение которых имеет форму крестовин, квадратов или лопатообразную (при шарнирном соединении со шпинделями). Бочка валка может быть гладкой (при прокатке листов, рис. 2.9, а) или ручьевого с кольцевыми проточками, соответствующими по сечению форме прокатываемого профиля (при прокатке сортового металла, рис. 2.9, б).

Ручьи (вырезы) верхнего и нижнего валков в совокупности образуют калибр. Калибр называется открытым (рис. 2.9, *в*), если плоскость его разъёма проходит по оси симметрии, параллельной осям валков, и закрытым (рис. 2.9, *г*), если плоскость разъёма является ломаной и смещённой в полость одного из ручьёв.

Калибровкой называют разработку системы калибров, через которые последовательно проходит исходная заготовка для получения заданного профиля проката. Калибровка является сложным и ответственным процессом, так как неправильная калибровка может привести не только к снижению производительности прокатки, но и к возникновению брака в изделиях.

Калибры по назначению делятся на обжимные или вытяжные (уменьшающие поперечное сечение заготовки), черновые (подготовительные) и чистовые.

К обжимным калибрам относятся прямоугольные (ящичные), ромбические, квадратные и овальные. Подготовительные калибры имеют форму, постепенно приближающуюся к заданной при проектировании. На рисунке 2.10 показана последовательность изменения формы поперечного сечения проката по мере прохождения заготовки через калибры обжимных валков. Например, для чистового круглого профиля берётся овал, для квадрата — ромб и т.д. Чистовые калибры по форме в точности соответствуют окончательному профилю проката, но размеры калибров выполняются с учётом последующей усадки металла и допусков на размеры готового проката.

Количество калибров, т.е. число технологических пропусков заготовки через них, выбирается при прокатке в зависимости от размеров и формы сечения исходной заготовки и сложности профиля готового проката. Для рельсов количество калибров обычно равно 9, для балок — 9...13, а для проволоки — 15...19.

На рисунке 2.10 также показана калибровка валков для прокатки двутавровой балки.

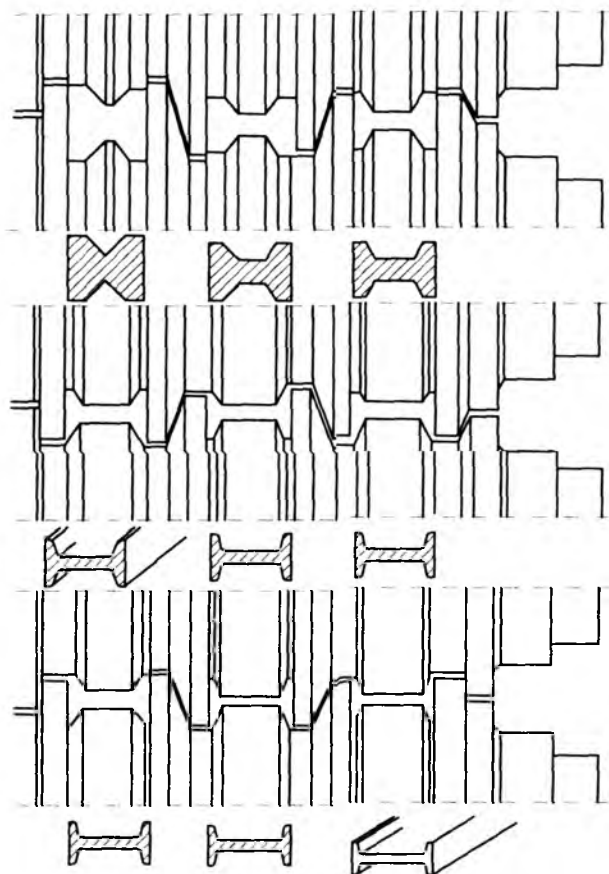


Рис. 2.10. Калибровка валков для двутавровой балки

Классификация прокатных станов. Прокатные станы различаются по трём основным признакам: по количеству валков в рабочей клетке, по виду выпускаемой продукции и по расположению клеток.

По количеству валков рабочие клетки разделяются на двухвалковые нереверсивные 1 (дуо) — с постоянным направлением вращения валков (рис. 2.11), двухвалковые реверсивные; трёхвалковые 2 (трио); четырёхвалковые 3

(кварто); двойные двухвалковые; многовалковые 4; универсальные 5 с двумя взаимно перпендикулярными парами валков.

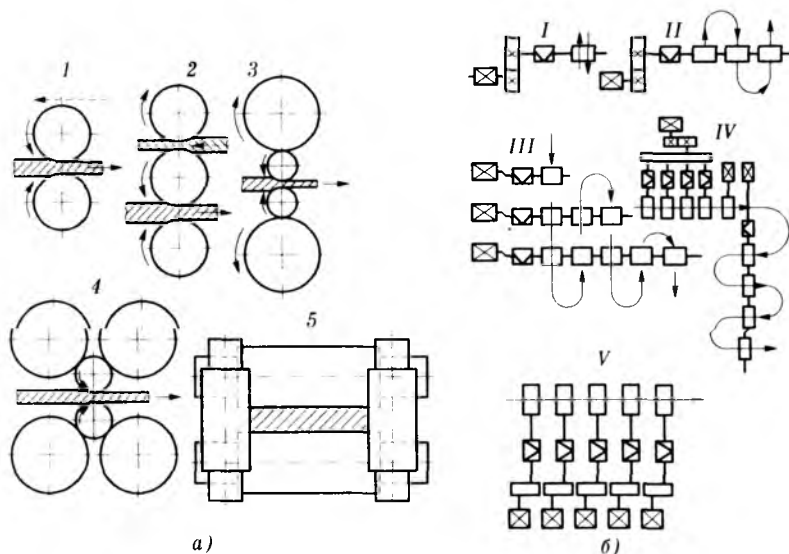


Рис. 2.11. Схемы расположения валков и клеток в прокатных станах: а — схемы расположения валков; б — схемы расположения клеток;

1 — двухвалковый стан (дуо); 2 — трёхвалковый стан (трио);

3 — четырёхвалковый стан (кварто); 4 — многовалковый стан;

5 — универсальный стан (с двумя взаимно перпендикулярными парами валков);

I — стан с одной клетью; II — линейное

с последовательно-возвратным движением проволоки и мелкого

профиля; III — ступенчатое расположение линий клеток

с последовательно-возвратным движением заготовки;

IV — линейное с последовательным и линейное

с последовательно-возвратным движением заготовки;

V — непрерывное линейное последовательное

Нереверсивные дуо-клетки применяют для высокопроизводительной прокатки в одном направлении сортового металла, проволоки, тонкого стального листа и ленты на непрерывных станах. В этом случае прокатываемый металл идёт со всевозрастающей скоростью из одной клетки в дру-

гую. Нереверсивные клетки применяются также для прокатки тонких листов, при этом верхний валок используется для обратной подачи листа после пропуска его между валками.

Реверсивные дуо-клетки — с меняющимся направлением вращения валков после каждого пропуска болванки вперёд и назад применяются в обжимных станах — блюмингах и слябингах, а также в качестве черновых клеток крупносортовых станов. На реверсирование валков затрачивается много энергии и времени.

Трёхвалковые клетки свободны от недостатков двухвалковых клеток, так как обеспечивают прокатку металла в обоих направлениях без реверсирования валков. Эти клетки применяются для прокатки блюмов, балок, рельсов, сортового металла и толстого листа.

Двойные дуо-клетки имеют независимую настройку каждой пары валков, что позволяет повысить точность прокатки.

Четырёхвалковые клетки имеют четыре валка, расположенные один над другим. Два валка меньшего диаметра являются рабочими (приводными), а два крайних — опорными, воспринимающими на себя давление при прокатке и препятствующими прогибу рабочих валков. Применяются при горячей прокатке толстых броневых плит и листов на реверсивных станах, а также на станах непрерывной прокатки тонких листов и лент.

Многовалковые клетки (6, 12 и 20 валков) вследствие ещё большей жёсткости рабочей клетки применяются для точной холодной прокатки тончайшей ленты (фольги). Рабочие валки диаметром 10...30 мм — холостые, опираются на средние приводные валки, вращающие их силами трения.

Универсальные клетки кроме горизонтальных валков имеют вертикальные валки, установленные вблизи от первых и формирующие вертикальные боковые поверхности заготовки. Такие клетки применяются в слябингах и универсальных балочных станах (для прокатки балок высотой до 1000 мм), обеспечивающих обжатие слитков при прокатке как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

По виду выпускаемой продукции прокатные станы делят на обжимные (блужинги и слябинги), заготовочные, рельсобалочные, сортовые проволочные, листовые, трубопрокатные, бандаже- и колёсопрокатные, а также другие станы специального назначения.

По расположению рабочих клеток (рис. 2.11) прокатные станы делят на одноклетьевые *I*, к которым относятся блужинги, слябинги, частично листопрокатные и трубопрокатные; станы с линейным расположением клеток в сочетании с последовательно-возвратным движением заготовки *II* (применяемые для прокатки проволоки и мелкосортных профилей); со ступенчатым расположением линий клеток в сочетании с последовательно-возвратным движением заготовки *III* (для прокатки мелкого профиля); полунепрерывные линейные в сочетании с последовательным и последовательно-возвратным движением заготовки *IV*; непрерывные с последовательным расположением клеток заготовки *V* и шахматным расположением клеток. Последние два типа станов применяются для прокатки рельсов, среднесортного и крупносортного металла, балок и т.п.

Основным недостатком расположения клеток в одну линию является невозможность прокатки со всевозрастающими скоростями по мере интенсивного удлинения заготовок. Ступенчатые станы дают возможность применять на последующих ступенях прокатки скорость выше, чем на первой ступени.

Наиболее производительными являются непрерывные станы с индивидуальным электроприводом каждой клетки. Скорость прокатки при выходе из последней клетки непрерывного стана очень велика и достигает: 15 м/с при прокате листа, сортового металла и полосы; 25...50 м/с при прокатке проволоки и 35 м/с при холодной прокатке жести. Современные прокатные цехи с массовым выпуском продукции, достигающим 1 млн т стали в год и больше, являются цехами с полностью механизированным, а в ряде случаев автоматизированным процессом производства.

Производство основных видов проката. К основным видам проката можно отнести сортовой, листовой прокат и трубы. Для сортового проката применяют полупродукт (бloomсы и сляб), являющийся промежуточным продуктом между слитком и сортовым прокатом.

Процесс прокатки bloomсов и слябов ведётся в такой последовательности:

- горячие слитки с температурой 800...900 °С из сталеплавильного цеха на платформах поступают в отделение нагревательных колодцев обжимного цеха. Здесь слитки загружаются в колодцы для подогрева до 1300 °С;
- подогретые до требуемой температуры слитки извлекаются из нагревательных колодцев краном и подаются на рельсовый слитковоз, доставляющий слиток в прокатный цех. Затем краном с помощью специального захвата слиток устанавливается на рольганг bloomинга или слябинга;
- bloomинг за 12...10 пропусков слитка через валки с калибрами в течение 1...2 мин обжимает его на bloomс квадратного сечения размером 450×450 мм и менее;
- полученный полупродукт в горячем состоянии режется на мерные куски длиной 2...6 м мощными сортовыми или летучими ножницами на ходу, при передвижении болванки по рольгангу;
- далее bloomсы поступают без подогрева на непрерывный заготовочный стан либо на крупносортовый стан, где осуществляется их дальнейшая прокатка. Часть bloomсов отправляют на холодильник и затем на склад готовой продукции цеха;
- охлаждённые bloomсы осматривают, производят удаление поверхностных дефектов вырубкой или огневой зачисткой, а затем bloomсы грузятся в вагоны для отправки в кузнечные цехи машиностроительных предприятий;
- заготовки, прокатанные на непрерывно-заготовочном стане до требуемого по технологическому процессу

сечения (250×250 мм и менее), разрезают на мерные болванки, которые после осмотра, удаления дефектов и повторного нагрева в методических печах поступают для окончательной прокатки на сортовых, проволочных и других станах.

Прокатка листового металла. В настоящее время в общем выпуске проката на заводах России производство листовых материалов составляет около 30 %. На листопрокатных станах получают толстолистовую и тонколистовую сталь, толстые и тонкие листы и ленты из меди, латуни, алюминия, дуралюмина и других цветных металлов и сплавов. Тонколистовой прокат из стали и цветных металлов используется главным образом как полуфабрикат для последующего изготовления готовых деталей холодной листовой штамповкой.

Исходным материалом для прокатки толстого стального листа являются слябы, прокатываемые из плоских слитков массой до 25 т на обжимных станах. Из слябов в последующем прокатывается в горячем состоянии сначала толстый, а затем тонкий лист.

Уменьшение толщины листа при прокатке достигается за счёт уменьшения зазора между гладкими валками после каждого пропуска листа между ними.

Прокатка толстого и тонкого листов производится теперь главным образом на полунепрерывных и непрерывных автоматизированных станах, выпускающих свыше 1 млн т проката в год. Такие станы имеют черновую и чистовую группы клетей. Перед чистовой группой, состоящей из нескольких клетей кварто, установлен окалиноломатель (дуо-клеть), удаляющий окалину при черновой прокатке. Окончательная холодная прокатка тонкого листа производится обычно рулонным способом на непрерывных станах, снабжённых разматывателями и наматывателями рулонов.

После холодной прокатки материал проходит отделочные операции: обрезку продольных кромок и переднего конца, разрезку на мерные листы, термическую обработку и травление.

Прокатка труб. Прокаткой изготавливаются бесшовные (цельнотянутые) трубы и сварные трубы со швом.

Процесс прокатки бесшовных труб состоит из двух основных технологических операций: прошивки нагретого слитка на стане косой прокатки с получением толстостенной гильзы и окончательной горячей прокатки гильзы в готовую трубу на пилигримовом, автоматическом или непрерывном стане.

Прошивной стан (рис. 2.12, а) имеет два рабочих валка конусной формы, оси которых скрещиваются под небольшим углом $8...24^\circ$. Оба валка вращаются в одном направлении в отличие от других ранее рассмотренных станов.

Прокатываемая заготовка 1 подаётся в валки 2 в направлении их осевого раствора и поддерживается с боков двумя холостыми валками. Наклон осей рабочих валков по отношению к прошиваемой заготовке обеспечивает её одновременно вращательное и поступательное движение, в результате чего частицы металла заготовки перемещаются по спирали. Конусная форма валков в зоне прошивки обеспечивает постепенное увеличение окружных скоростей в наружных слоях прокатываемой заготовки по мере продвижения её в направлении уменьшающегося просвета между валками.

Вследствие увеличения окружных скоростей периферийные слои металла стремятся двигаться в осевом направлении быстрее внутренних и, пройдя зону прошивки, набегают на конусную оправку-дорн 3, удерживаемую на стержне с противоположной стороны. Полость, образовавшаяся в осевой зоне заготовки в результате сложной деформации с наличием растягивающих напряжений, калибруется этой оправкой по внутреннему диаметру, а толщина стенок прошивной гильзы уменьшается в зонах раскатки и выпуска прошивного стана. После выхода из прошивного стана гильза имеет толстую стенку, достигающую до 25 % диаметра трубы, кроме того, на её поверхностях остаются следы валков и оправки в виде винтовых линий.

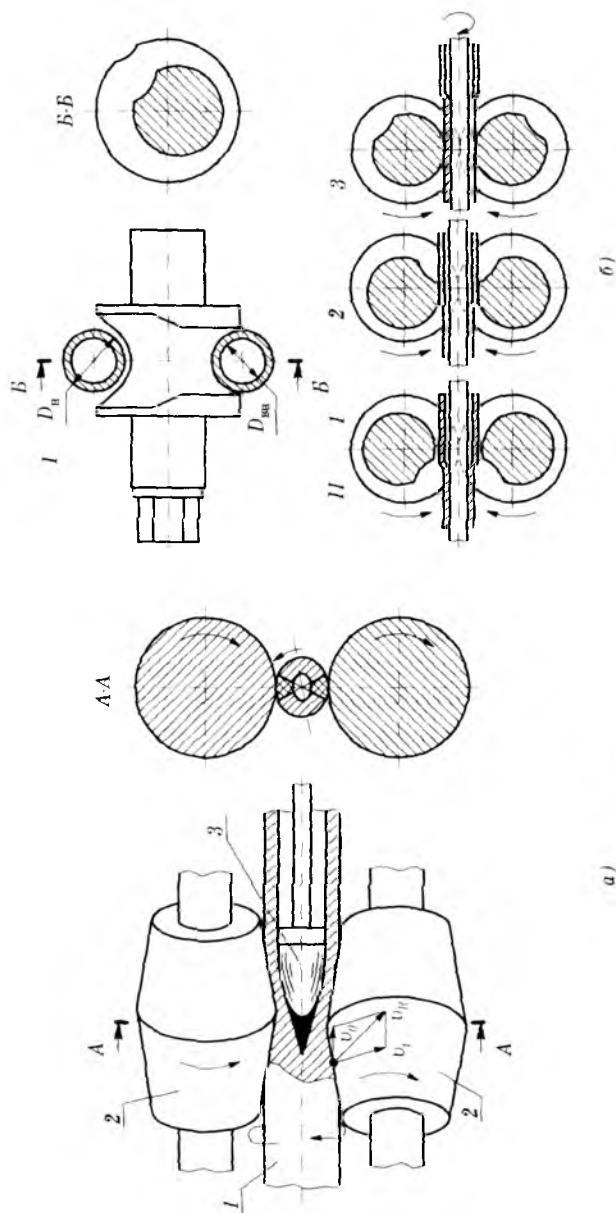


Рис. 2.12. Схема прокатки бесшовных труб:
 а — схема прошивки заготовки: 1 — заготовка; 2 — валки; 3 — конусная оправка-дорн;
 б — схема окончательной обработки гильзы на пилгримовом стане:
 1 — схема положения гильзы в момент подачи в просвет валков и в момент выхода из прокатки; 1I — схемы рабочих стадий прокатки;
 1I — продвижение трубы с оправкой в просвет между валками на величину подачи;
 2 — начало обжатия; 3 — обработка калибрующей частью ручьёв калибра валков

Окончательная прокатка гильзы в тонкостенную трубу заданных размеров, с гладкой поверхностью, производится на пилигримовом стане продольной прокатки (рис. 2.12, б).

Этот стан имеет ручьевые валки с калибром переменного профиля. На части окружности валков размеры сечения калибра постепенно уменьшаются (обжимной участок) и достигают на калибрующем участке размера, соответствующего наружному диаметру готовой трубы, на остальной части окружности размеры сечения калибра превышают сечение заготовки и позволяют осуществить подачу заготовки вместе с оправкой для обработки нового участка гильзы (рис. 2.12 б, I). При вращении валков площадь поперечного сечения образуемого ими калибра непрерывно меняется.

Валки стана вращаются в разные стороны с одинаковой скоростью, в направлении, обратном направлению подачи гильзы, надетой на длинную оправку. Специальным механизмом гильза с оправкой движется на величину подачи в зазор между валками в момент когда ручки валков образуют сечение калибра (рис. 2.12, б, II, положение 1), размеры которого больше наружного диаметра гильзы. При дальнейшем вращении валков сечение калибра постепенно уменьшается и валки производят возрастающее обжатие стенок гильзы (положение 2), при этом гильза вместе с оправкой перемещается в направлении, обратном подаче.

Окончательное выравнивание неровностей на поверхности трубы производится калибрующей частью ручья (положение 3). После полного оборота валков вновь сечение калибра увеличивается, и в валки подаётся следующий участок гильзы, одновременно гильза поворачивается на 90° вокруг продольной оси.

Весь цикл начинается сначала и повторяется до тех пор, пока вся гильза не будет прокатана в трубу. Общее количество подач при прокатке достигает 120-180. На пилигримовых станах прокатываются трубы диаметром до 650 мм и длиной до 30 м. За смену прокатывается до 1500 м труб диаметром 200 мм.

На автоматических станах производят прошивку и окончательную прокатку прошитых гильз, получая трубы диаметром 57...400 мм с толщиной стенки 3...30 мм. Автоматический стан состоит из двухвалковой клетки с валками диаметром до 1000 мм и специальных роликов обратной подачи.

Валки стана имеют ряд круглых калибров различных диаметров. В калибр вставляют оправку, удерживаемую неподвижно стержнем, укреплённым в упорной станине. При прокатке на автоматическом стане происходит уменьшение диаметра и толщины стенки трубы за счёт её обжатия на оправке. Получаемые толщина стенки трубы и её наружный диаметр определяются величиной зазора между оправкой и калибром валка. Обычно прокатка проходит в два-три пропусков с поворотом трубы после каждого пропуска на 90° .

Схема прокатки на автоматическом стане показана на рисунке 2.13. Труба, пройдя через валки 1 стана, оказывается на стержне с обратной стороны стана. Передача трубы на переднюю сторону осуществляют парой роликов обратной подачи. Нижний ролик прижимается к трубе и силой трения стягивает её со стержня и подаёт её на переднюю сторону стана. Верхний ролик в это время поднимается, чтобы пропустить трубу. После передачи трубы на переднюю сторону стана, ролик опускается в рабочее положение.

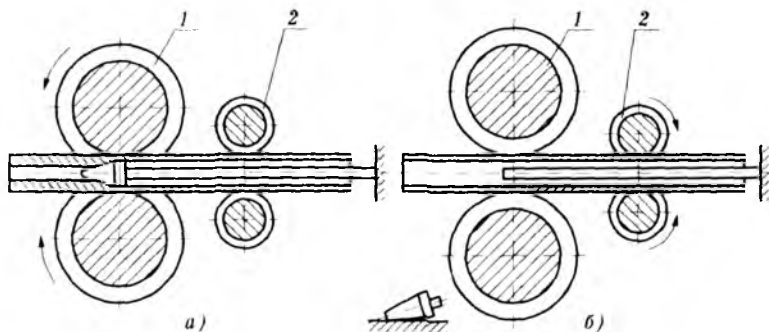


Рис. 2.13. Схема прокатки труб на автоматическом стане:
а — процесс прокатки; б — процесс обратной подачи трубы;
1 — валки стана; 2 — ролики обратной подачи

Оправка механически снимается со стержня торцом трубы после возврата трубы на переднюю сторону стана. Подъём и сближение роликов обратной подачи полностью автоматизированы.

Трубы в автоматическом режиме обычно прокатывают за два пропуска через валки с поворотом её на 90° и заменой оправки после каждого пропуска. После прокатки на автоматическом стане трубы получаются слегка овальными, со стенками разной толщины и с недостаточно гладкой поверхностью. Поэтому трубы после автоматического стана проходят обработку на обкатных и калибровочных и редукионных станах.

Процесс производства сварных труб состоит из двух операций: свёртывания заготовки в трубу и сварки. Заготовкой являются стальные полосы (штрипсы) шириной, равной окружности получаемой трубы. Заготовки для труб небольшого диаметра (до 100 мм) сворачиваются путём протягивания через конусную воронку (рис. 2.14, а). Заготовки для труб большого диаметра (до 630...1420 мм) свёртываются при прокатке на формовочных непрерывных двухвалковых станах с числом клетей от 5 до 12 (рис. 2.14, б) либо гибкой в штампах на гидравлических прессах.

При печной сварке штрипсы нагреваются в печи до $1300...1350^\circ\text{C}$ и протягиваются клещевым захватом за обрезанный конец через воронку на волочильном стане. При протягивании кромки штрипса соприкасаются встык и благодаря давлению в воронке свариваются (рис. 2.14, а). Сваренная труба пропускается через калибровочный стан и поступает на холодильник. Сварка труб большого диаметра, до 750 мм, производится после подогрева кромок свёрнутой заготовки трубы до 1300°C при обжатии шва прокаткой между двумя ручьевыми валками и стальной оправкой, находящейся внутри трубы.

Для сварки кромок труб применяют также автоматическую под слоем флюса, контактную роликовую (рис. 2.14, в) и аргоно-дуговую сварку.

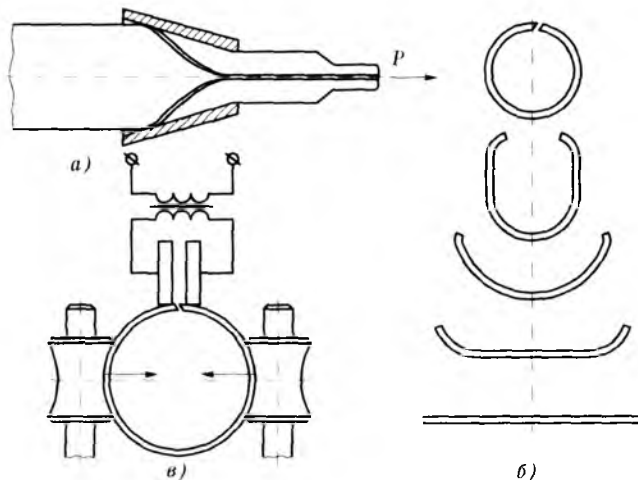


Рис. 2.14. Прокатка сварных труб:
а — схема сворачивания штрипса в трубу;
б — последовательность формовки трубы
на непрерывном стане;
в — сварка кромок трубной заготовки

Прокатка бандажей, колёс и колец. Производство бандажей и колёс для железнодорожного транспорта является комбинированным процессом обработки давлением, включающим ковку и прокатку. При изготовлении цельнокатанных колёс заготовка отрезается от стального слитка, нагревается в печи и подвергается ковке на молоте или прессе, в результате чего получается проштампованная дисковая заготовка. Эта заготовка затем штампуется и поступает на колёсопрокатный стан. При изготовлении бандажей исходная нагретая заготовка вначале осаживается по высоте, прошивается и отковывается в черновое кольцо с раздачей отверстия на оправке. Полученное кольцо, называемое разводкой, после второго нагрева раскатывается в бандаж на бандажепрокатном стане.

Кольца для шарикоподшипников большого размера после предварительнойковки на молоте подвергаются про-

катке на специальных раскаточных машинах, принцип действия которых аналогичен работе бандажепрокатного стана.

Прокатка периодических профилей. Периодический прокат применяется как фасонная заготовка для последующей горячей штамповки деталей сложной формы на кривошипных прессах, что обеспечивает экономию металла до 10 %, а также как заготовка, близко приближающаяся по форме и размерам к конфигурации готовых деталей типа конических шестерён, велосипедных втулок, полуосей автомобилей, шаров для шарикоподшипников, ребристых труб и др. Периодический прокат получается главным образом методом поперечной прокатки, являющейся высокопроизводительным непрерывным процессом. На рисунке 2.15 показаны схемы работы валков станов для периодического проката.

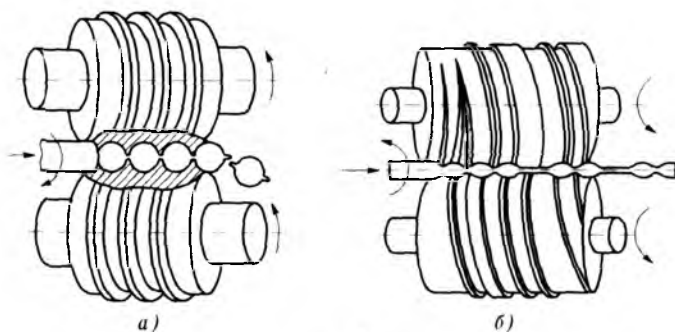


Рис. 2.15. Схемы поперечно-винтовой прокатки:

а — шаров (сфероидов);

б — заготовок с переменным сечением вдоль длины

Валки стана вращаются в одном направлении и расположены под небольшим углом друг к другу. Ручьи на валках расположены по винтовой линии. Заготовка круглого профиля поступает вдоль раствора осей валков и получает, как и в случае прокатки гильзы трубы на прошивном стане, вращательное и поступательное движение. Получаемый при поперечной прокатке периодический профиль заготов-

ки определяется формой и размерами калибров, образуемых ручьями валков стана.

Производительность крупнейших прокатных станов — блюмингов достигает 3,5...4 млн т в год, причём цикл прокатки слитка весом до 14 т сокращён до 50...60 с. Скорости горячей прокатки тонкого стального листа на непрерывных станах доходят до 15 м/с, жести до 30 м/с, проволоки до 30...50 м/с.

Выход годного продукта при прокатке блюмсов из слитков кипящей стали составляет 91...92,5 %, при прокатке рельсовой стали — 80...82 %.

Выход годного продукта при прокатке сортовых профилей и проволоки из заготовки и блюмсов составляет 91...96 %, а при прокатке листов рулонным способом — 85...90 %. Более высокий выход достигается на мелкосортных и проволочных станах. Расход электроэнергии при прокатке блюмсов составляет 12...15 кВт · ч/т (43,2...54,0 МДж/т) слитков, а при прокатке сортового металла 50...180 кВт · ч/т (180...648 МДж/т) продукции.

Производство проката непрерывно совершенствуется в направлениях дальнейшего повышения скоростей и производительности процессов прокатки, полной механизации и автоматизации производственного процесса в прокатных цехах, внедрения программного управления блюмингами, слябингами и другими прокатными станами, а также проведения научно-исследовательских работ в области прокатки для нахождения новых зависимостей, совершенствующих процесс деформирования при прокатке.

2.5. Основы производства заготовок свободной ковкой

2.5.1. Общие сведения

Свободной ковкой называют процесс последовательного деформирования металла между плоскими бойками кувал-

ды, кузнечного молота или пресса, в котором имеет место свободное течение металла в стороны. Различают ручную и машинную свободную ковку.

Ручная ковка осуществляется на наковальне с помощью кувалды и различного кузнечного инструмента, включающего различной конструкции клещи, обжимки, намётки, пережимки, раскатки, топоры, прошивки и др.

Машинная свободная ковка осуществляется на кузнечно-прессовых машинах. Мелкие и средние поковки (массой до 750 кг) обрабатывают на молотах, а крупные (массой до 350 т и более) обрабатывают на прессах.

Рассматриваемый способ обработки металлов давлением экономически целесообразен при получении фасонных заготовок стальных деталей с высокими механическими свойствами в условиях индивидуального и мелкосерийного производства.

Свободная ковка по сравнению с другими способами обработки металлов, например литьём, резанием, штамповкой, имеет преимущества, к которым можно отнести: универсальность обработки, обеспечение высоких механических свойств металла в изделиях за счёт получения в структуре мелкого зерна, использование сравнительно недорогого инструмента и оснастки, возможность концентрированного приложения сил в ограниченном объёме деформируемого металла.

В производстве свободная ковка применяется для изготовления поволоков шестерён, турбинных роторов и дисков, валов, шатунов, колец и других ответственных деталей машин. Свободная ковка остаётся всё ещё незаменимой в производстве крупных деталей, несмотря на ряд присущих ей недостатков. К ним относятся, например, сравнительно низкая производительность труда и небольшая точность размеров послековки, вызывающая необходимость назначения значительных припусков и напусков металла. Увеличенные размеры поковки приводят к повышению расхода материала и стоимости готовых деталей.

2.5.2. Основные операции технологического процессаковки, приёмы их выполнения, ковочный инструмент

Технологический процесс машинной свободнойковки состоит из ряда элементарных кузнечных операций, выполняемых в определённой последовательности с целью получения из исходной заготовки простой формы (слитка, блюмса) фасонной поковки требуемых размеров и формы.

Кроме чисто кузнечных операций полный технологический процесс изготовления поковки, фиксируемый в специальной технологической карте, включает также заготовительные операции (резку или рубку заготовок и их контроль), нагрев металла подковку, охлаждение поковок, контрольные операции по проверке размеров и механических свойств поковок (если это требуется техническими условиями). Операции первичной термической обработки поковок (отжиг, нормализация) чаще всего выполняются обычно в кузнечном цехе.

Основными операциями процесса свободнойковки являются осадка, вытяжка, прошивка, гибка, рубка. К менее распространённым кузнечным операциям относятся передача металла, закручивание и кузнечная сварка. Кроме перечисленных операций в процессе изготовления поковок применяются и их разновидности: высадка в подкладных кольцах, представляющая собой частичную осадку заготовки по её высоте; обкатка по диаметру (после осадки), вытяжка и раздача кольцевых поковок на оправке. В ряде случаев технологический процессковки включает операции горячейштамповки в подкладных штампах под молотом.

Наличие тех или иных кузнечных операций, а также порядок их чередования определяются формой изготавливаемой поковки. Так, например, при изготовлении поковок типа валов применяются главным образом вытяжка и рубка, а в случаековки коленчатых валов вытяжка и передача металла. При изготовлении кольцевых поковок применяют

осадку, прошивку, раздачу, а иногда и вытяжку на оправке. Дляковки фланцевых поковок применяют высадку, прошивку и обкатку по диаметру.

При машинной ковке заготовка укладывается на нижний неподвижный боек молота или прессы, а затем деформируется или непосредственно верхним подвижным бойком или с применением подкладного инструмента, помещаемого между верхним бойком и заготовкой.

Бойки бывают плоскими и вырезными (рис. 2.16, а). Вырезные бойки используют при ковке валов, их применение ускоряет процессковки и повышает пластичность металла во время деформации.

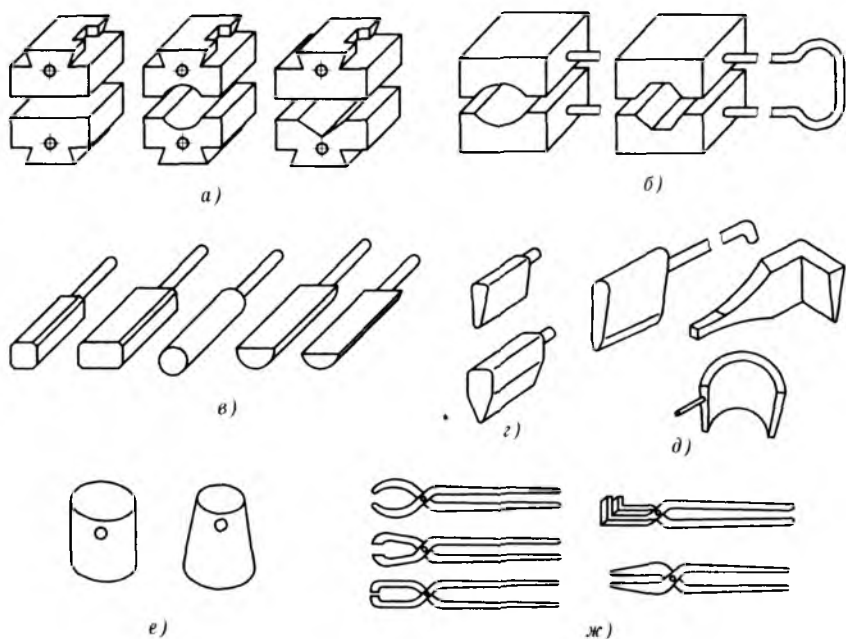


Рис. 2.16. Инструмент для машиннойковки:
а — бойки плоские и вырезные; **б** — обжимки;
в — раскатки; **г** — пережимки; **д** — топоры;
е — прошивни; **ж** — клещи

Подкладными инструментами служат:

- обжимки (рис. 2.16, б) для отделки цилиндрических и гранёных поверхностей после предварительной вытяжки поковок на плоских бойках;
- раскатки (рис. 2.16, в) для местной деформации металла, например при ковке односторонних уступов;
- пережимки (рис. 2.16, г) для разметки материала при ковке и пережима металла заготовки на объёмы, идущие на образование отдельных частей поковки;
- топоры (рис. 2.16, д) и квадраты для рубки металла;
- прошивни (рис. 2.16, е) для пробивки отверстий;
- клещи различных конструкций и размеров (рис. 2.16, ж), используемые для переноса, поддержания, подачи и кантовки небольших заготовок;
- оправки для выполнения различных операцийковки и др.

Существует большое число операцийковки, часть из которых схематично представлена на рисунке 2.17.

Осадка (рис. 2.17, а) представляет собой операцию уменьшения высоты заготовки при увеличении площади её поперечного сечения. Она осуществляется с полным перекрытием инструментом (бойками 1, 2) всей заготовки 3. Чаще всего осадка является предварительной операцией для улучшения механических свойств металла (уничтожение литой структуры), перед прошивкой заготовки и т.д. Осадка является основной операцией при получении поковок дисков, зубчатых колёс, колец и т.п.

Высадка (рис. 2.17, б) представляет разновидность осадки, при которой металл осаживается лишь на части длины заготовки. Её используют для получения поковок 4 с утолщением на конце или в середине. В последнем случае ограничивают деформацию заготовки на некоторой её части подкладкой кольцевых плит 3, закрепляемых на бойках 1, 2. Таким образом, создаются поковки болтов, деталей с буртами, фланцами и т.п.

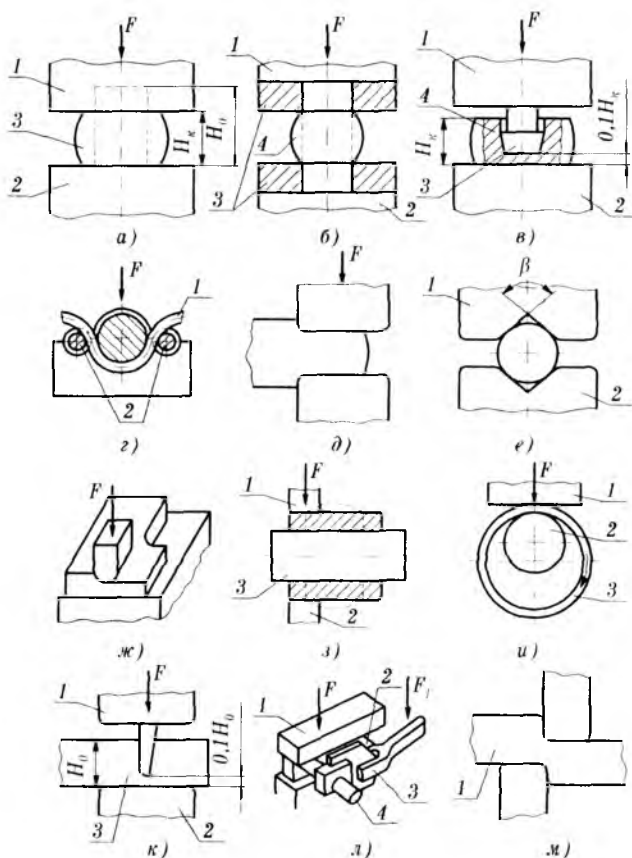


Рис. 2.17. Схемы операций свободнойковки:

- а — осадка: 1 — верхний боёк; 2 — нижний боёк; 3 — заготовка;
 б — высадка: 1 — верхний боёк; 2 — нижний боёк; 3 — кольцевые
 плиты; 4 — заготовка; в — прошивка: 1 — верхний боёк;
 2 — нижний боёк; 3 — прошивень; 4 — поковка; г — гибка:
 1 — заготовка; 2 — подкладные опоры; д — протяжка;
 е — протяжка круглой заготовки: 1 — верхний боёк; 2 — нижний
 боёк; ж — разгонка; з — протяжка на оправке: 1 — верхний
 боёк; 2 — нижний боёк; 3 — оправка; и — раскатка на оправке:
 1 — боёк; 2 — цилиндрическая оправка; 3 — заготовка; к — рубка:
 1 — топор; 2 — боёк; 3 — заготовка; л — скручивание:
 1 — верхний боёк; 2 — нижний боёк; 3 — ключ; 4 — заготовка;
 м — передача металла: 1 — заготовка

Прошивка (рис. 2.17, в) — это операция, предназначенная для получения отверстий или полостей в поковке 4, установленной на бойке 2, прошивнем 3, закреплённом на бойке 1. Прошивка часто используется для удаления некачественной сердцевины слитка. Отход металла при прошивке называется выдрой. Применяют два способа прошивки: с применением подкладного кольца и последовательную прошивку с двух сторон. При прошивке со второй стороны поковку переворачивают.

При прошивке на кольцо осаженная заготовка обычно небольшой толщины, укладывается на стальном кольце, находящемся на нижнем бойке молота. В центре заготовки устанавливается конусный прошивень, широким основанием вниз, который затем внедряется в заготовку сначала лёгкими, а затем сильными ударами верхнего бойка. Металл вначале выдавливается из-под прошивня в стороны, а затем происходит сдвиг сердцевины под торцом прошивня вдоль цилиндрической поверхности, с образованием выдры, проваливающейся вниз под давлением прошивня. При этом способе прошивки объём металла выдры составляет около $3/4$ объёма получаемого отверстия.

При прошивке с двух сторон, применяемой для поковок большой толщины, заготовку укладывают непосредственно на боек молота, устанавливают на ней конусный прошивень, узким основанием вниз и лёгкими ударами верхнего бойка по прошивню производят глухую прошивку примерно на $3/4$ высоты заготовки. Затем прошивень удаляют клещами или ударами по тыльной стороне поковки, положенной на кольцо, и, установив поковку на боек глухим отверстием вниз, производят сквозную прошивку её с обратной стороны. Выдра получается небольшой высоты и по объёму составляет около $1/4$, объёма прошиваемого отверстия.

Гибка (рис. 2.17, г) представляет операцию придания заготовке 1 изогнутой формы по заданному контуру. Процесс гибки заготовки осуществляется на подкладных опорах 2. Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением её площади в зоне изгиба. Это явление называют утяжкой. Для компен-

сации утяжки в зоне изгиба, заготовке придают увеличенные поперечные размеры. При гибке заготовки возможно образование складок по внутреннему контуру и трещин по наружному. На практике по углу изгиба подбирают соответствующий минимальный радиус закругления. Гибкой изготавливаются угольники, скобы, крюки.

Протяжка (рис. 2.17, *д*) представляет собой процесс увеличения длины заготовки за счёт уменьшения её поперечного сечения. Протяжка является наиболее распространённой операцией свободнойковки. Она совершается последовательными ударами или нажатиями на отдельные смежные участки заготовки. Процесс изготовления круглой заготовки меньшего диаметра, чем исходный круглый прокат, производят в вырезных бойках 1, 2 (рис. 2.17, *е*). Протяжка круглых заготовок в вырезных бойках способствует повышенной пластичности металла вследствие приближения к схеме напряжённого состояния всестороннего сжатия. Протяжкой получают поковки с удлинённой осью, из которых изготавливаются валы, рычаги, шатуны, тяги и т.п.

Разгонка (рис. 2.17, *ж*) представляет операцию увеличения ширины части заготовки за счёт уменьшения её толщины.

Протяжка на оправке (рис. 2.17, *з*) представляет собой операцию увеличения длины пустотелой заготовки за счёт уменьшения толщины её стенок. Наружный диаметр заготовки уменьшается. Обжатие происходит между бойками 1, 2 и оправкой 3. Эта операция применяется при изготовлении пустотелых поковок котельных барабанов, роторов турбин и др.

Раскатка на оправке (рис. 2.17, *и*) представляет собой операцию одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров за счёт уменьшения толщины её стенок. Заранее проштампованная заготовка 3 подвергается протяжке между длинным бойком 1 и цилиндрической оправкой 2. После каждого нажатия заготовку поворачивают относительно оправки. Метод используется в производстве поковок колец, бандажей, барабанов.

Рубка (рис. 2.17, *к*) — это операция отделения одной части заготовки от другой. Рубка заготовки 3 проводится топором 1, после чего заготовка на бойке 2 кантуется на 180° и разделяется окончательно.

Скручивание (рис. 2.17, *л*) представляет собой операцию поворота части заготовки вокруг её продольной оси. Одна часть заготовки 4 зажимается в бойках 1 и 2, другая — поворачивается при помощи ключей 3, воротков и других приспособлений. Скручивание применяют для разворота колен коленчатых валов, при изготовлении свёрл и т.п.

Передача металла (подкат) (рис. 2.17, *м*) представляет собой операцию смещения одной части объёма заготовки 1 относительно другой. Передача применяется для изготовления коленчатых валов и других изделий.

Технологические требования к кованым деталям сводятся главным образом к тому, что поковки должны быть наиболее простыми, очерченными цилиндрическими поверхностями и плоскостями. Следует избегать в поковках конических и клиновых форм. Надо учитывать трудность выполнения ковкой участков пересечений цилиндрических поверхностей между собой и с призматическими поверхностями. В поковках необходимо избегать ребристых сечений, бобышек, выступов и т.п., учитывая, что эти элементы в большинстве случаев изготовить ковкой невозможно. В местах сложной конфигурации приходится прибегать к напускам в целях упрощения конфигурации поковки, что вызывает удорожание детали. Кроме того, следует стремиться, чтобы конфигурация детали позволяла получить при ковке наиболее благоприятное расположение волокнистой структуры.

Технологические особенностиковки высоколегированных сталей и цветных металлов обусловлены отличием их технологических свойств от свойств углеродистых и низколегированных конструкционных сталей.

Высоколегированные стали склонны к интенсивному упрочнению, поэтому дляковки этих сталей чаще целесо-

образнее использовать пресс, а не молот. Ввиду малой скорости деформирования на прессах разупрочняющие процессы, возврат и рекристаллизация успевают произойти полнее, и упрочнение снимается. В противном случае деформация не будет полностью горячей, и пластичность может резко понизиться.

Для каждой марки стали необходимо выбирать определённую общую уковку, чтобы получить хорошее качество поковок. Ввиду того, что высоколегированные стали имеют пониженную технологическую пластичность, нужно выбирать такие приёмыковки, при которых значительно снижаются растягивающие напряжения. Например, протяжку этих сплавов целесообразно выполнять в вырезных бойках. Особенно осторожно следует ковать литую заготовку, так как литая структура менее пластична, чем деформированная. Последнее относится и ко всем алюминиевым сплавам. Например, предварительно деформированные прутки из сплавов АК5 и АК6 можно подвергать ковке, тогда как слитки этих сплавов при ковке разрушаются. Алюминиевые сплавы, которые имеют хорошую пластичность (АЛ1, Д1, АК2 и др.), куют на молотах и гидравлических прессах без особых ограничений. Малопластичные алюминиевые сплавы (АК3, В93 и др.) предпочтительнее ковать на гидравлических прессах в вырезных бойках так же, как малопластичные магниевые сплавы (МА3). На гидравлических прессах с невысокой скоростью деформирования можно ковать и магниевые сплавы, обладающие хорошей пластичностью (МА1, МА2).

Медные сплавы (латуни и бронзы) имеют невысокий запас пластичности, поэтому ковку необходимо вести с минимальными растягивающими напряжениями.

Титан и титановые сплавы имеют пластичность, изменяющуюся в достаточно широких пределах в зависимости от химического состава и структуры. Они обрабатываются ковкой всеми применяемыми методами. При динамическом деформировании под молотом пластичность титановых спла-

вов снижается. Труднодеформируемые титановые сплавы протягивают в вырезных бойках.

Ковка является трудоёмким и малопроизводительным процессом, поэтому её механизация является важной задачей, улучшающей условия труда и повышающей производительность. При ковке массивных поковок (особенно на гидравлических прессах) многие операции вообще не могут быть осуществлены вручную.

Для посадки заготовок (слитков) в печь и выдачи их из печи кроме мостовых и консольно-поворотных кранов применяют специальные посадочные машины напольного или подвесного типов. Ковку на прессах и молотах механизуют с помощью различных кранов, кантователей и манипуляторов.

Молоты обслуживают обычно консольно-поворотные краны, прессы — мостовые. *Кантователь* — механизм, подвешиваемый к крюку крана и позволяющий поворачивать слиток вокруг его продольной оси (дополнительно к тем движениям, которые обеспечивает сам кран).

Манипулятор представляет собой тележку, либо перемещающуюся по железнодорожным рельсам (рельсовый манипулятор), либо автомобильного типа (безрельсовый манипулятор). На тележке устанавливают электрические или гидравлические приводы, осуществляющие перемещение самой тележки и движения хобота. Хобот зажимает заготовку, производит кантовку вокруг продольной оси и перемещает её вверх-вниз. Имеются манипуляторы, у которых, кроме этого, хобот поворачивается вокруг вертикальной оси. Грузоподъёмность манипуляторов достигает 120 т и более. Начиная применять автоматизированные процессыковки, при которых работа прессы и манипулятора управляется электронными устройствами по заданной программе.

Для повышения точности поковок находят применение устройства (фотоэлементы, датчики с радиоактивными изотопами), регламентирующие положение рабочего инструмента в заключительный моментковки.

2.5.3. Оборудование дляковки

Для свободнойковки используют молоты и прессы. Молоты — это машины динамического, ударного действия. Продолжительность деформации на них составляет тысячные доли секунды. Прессы — это машины статического действия, продолжительность деформации у них может составлять от единиц до десятков секунд.

Молоты разделяют на приводные (рычажные, пневматические, фрикционные) и паровоздушные, а прессы — на гидравлические и парогидравлические.

Основной характеристикой молотов является масса падающих частей, а прессов — наибольшее усилие, развиваемое плунжером. Молоты обеспечивают в течение рабочего хода ударное (динамическое до 6,5...7 м/сек), а прессы — относительно медленное (статическое, до 0,1 м/сек) воздействие рабочего инструмента на обрабатываемый металл. При свободнойковке мелких поковок обычно применяют пневматические ковочные молоты, средних и крупных — паровоздушные ковочные молоты и гидравлические прессы, очень крупных поковок — только гидравлические прессы.

Пневматические ковочные молоты различают простого и двойного действия. В молотах первого типа воздух работает только в полости под поршнем рабочего цилиндра, а в молотах второго типа — над и под поршнем. В настоящее время применяют молоты только второго типа.

Пневматический молот (рис. 2.18) двойного действия имеет станину, в верхней части которой расположены компрессорный 9 и рабочий 8 цилиндры. Поршень 12 компрессорного цилиндра служит для нагнетания воздуха, приводящего в движение рабочий поршень 15, к которому прикреплен шток с падающей бабой молота. Электродвигатель 11 через редуктор 10 передает вращение на вал с кривошипом 13, от которого через шатун 14 кривошипа возвратно-поступательное движение передается на поршень 12.

Рабочий и компрессорный цилиндры соединены воздухо-распределительным устройством, состоящим из кранов 6 и 7 с каналами, через которые сжимаемый воздух направляется в рабочий цилиндр попеременно снизу и сверху. Сжатый воздух перемещает бабу молота соответственно вверх и вниз. Переключение кранов осуществляется натяжением ножной педали 1 или же рукояткой 1а.

Управляя распределением воздуха, можно регулировать перемещение падающих частей молота и производить автоматические (множественные) и единичные удары бойка по заготовке, прижимать поковку к нижнему бойку или держать бабу молота на весу. Крепление верхнего бойка 5 к падающей бабе пневматического молота, а также нижнего бойка 4 к подушке 3 производится специальными клиньями.

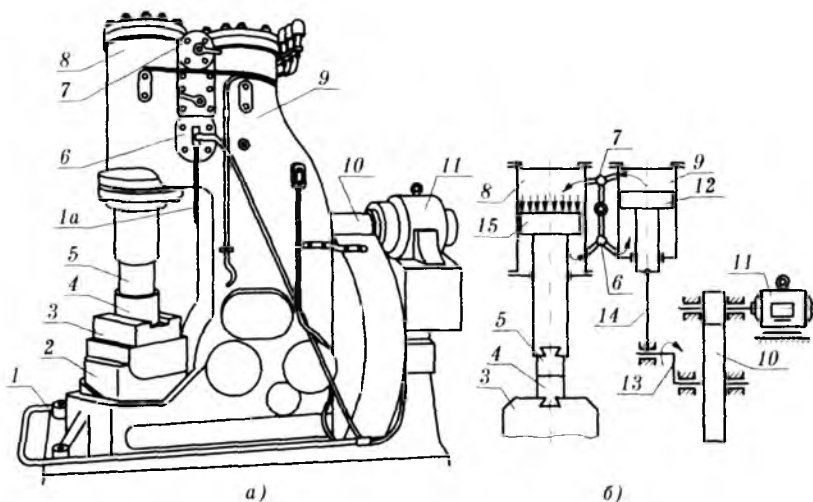


Рис. 2.18. Пневматический ковочный молот:

а — общий вид; *б* — кинематическая схема;

- 1 — ножная педаль; 1а — рукоятка; 2 — шабот; 3 — стальная подушка; 4 — нижний боёк; 5 — верхний боёк; 6 и 7 — краны; 8 — рабочий цилиндр; 9 — компрессорный цилиндр; 10 — редуктор; 11 — электродвигатель; 12 — поршень; 13 — вал с кривошипом; 14 — шатун; 15 — рабочий поршень

Стальная подушка 3 установлена на тяжёлом основании молота — шаботе 2, который не связан со станиной молота и опирается на самостоятельный фундамент.

Масса падающих частей пневматических молотов (поршня, штока и бабы), выпускаемых для машиностроения, изменяется в пределах от 50 до 1000 кг. Массу шабота принимают примерно в 12 раз больше массы падающих частей. Число ударов верхнего бойка молота может составлять 95...210 в минуту.

Паровоздушные ковочные молоты могут приводиться в действие паром или сжатым воздухом. Паровоздушные молоты различают простого и двойного действия. В последнем случае пар или воздух поднимает подвижные части молота и дополнительно увеличивает энергию удара.

Паровоздушные молоты по конструкции разделяют на одностоечные с падающими частями массой 500, 750 и 1000 кг, двухстоечные арочного типа с падающими частями массой 1...5 т и двухстоечные мостового типа с падающими частями массой 2...5 т.

На рисунке 2.19 показан общий вид двухстоечного паровоздушного ковочного молота арочного типа. Молот состоит из двух боковых стоек 3, смонтированных на общей плите 10. Плита укреплена при помощи анкерных болтов на фундаменте молота. В середине плиты имеется вырез для шабота 11, который укреплен на отдельном фундаменте. На стойках смонтирован рабочий цилиндр 1, поршень которого связан со штоком 4. На конце штока укреплена баба 5 с верхним бойком 6. Для управления молотом служит рукоятка 7, передвигающая золотник, помещённый в золотниковой коробке 2, вверх или вниз, что обеспечивает рабочий ход бабы с верхним бойком попеременной подачей пара или воздуха в камеру над поршнем или под поршнем. Давление пара или воздуха 0,7...0,9 МПа. Между стойками станины расположен шабот, на котором укреплена промежуточная подушка 9 и нижний боек 8. У паровоздушных молотов арочного типа масса шабота обычно в 15 раз больше массы падающих частей.

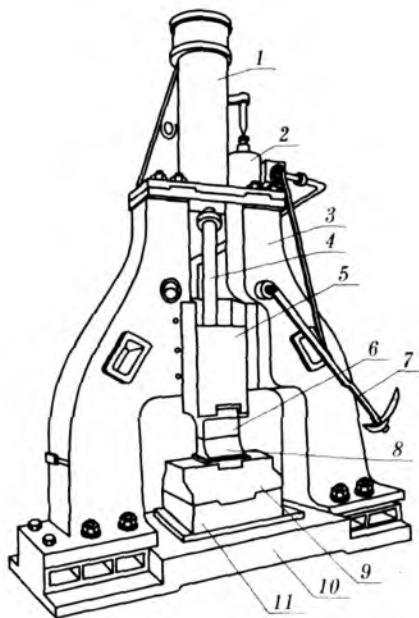


Рис. 2.19. Паровоздушный ковочный молот арочного типа:
1 — рабочий цилиндр; 2 — золотниковая коробка;
3 — боковые стойки; 4 — шток; 5 — баба; 6 — верхний боёк;
7 — рукоятка; 8 — нижний боёк; 9 — промежуточная подушка;
10 — общая плита; 11 — шабот

На паровоздушном молоте можно производить единичные и серийные удары бойка о поковку, а также прижим поковки бойком. Подвижные части паровоздушного молота можно удерживать на весу. Дляковки средних и крупных поковок применяют гидравлические и парогидравлические прессы.

В состав гидропрессовой установки входит собственно гидравлический пресс; насосная установка; сеть высокого давления с аккумулятором высокого давления; сеть низкого давления с аккумулятором низкого давления, питающим насосы и пресс на определённых этапах рабочего цикла; орган управления — водораспределитель или так называемый дистрибутор; система трубопроводов с соответствующей

щей аппаратурой и арматурой (запорные и предохранительные клапаны, компенсаторы и др.), соединяющие все элементы в одну гидравлическую систему.

Современным приводом гидравлического пресса является насосный привод через беспоршневой воздушно-гидравлический аккумулятор высокого давления. Такой аккумулятор состоит из двух или трёх металлических резервуаров, один из которых заполнен водой до 75 % объёма, а остальной объём занят сжатым воздухом и соединён трубой с другими резервуарами, также заполненными сжатым воздухом. Сжатый воздух давит на поверхность воды в первом резервуаре и этим заменяет груз. Беспоршневой воздушно-гидравлический аккумулятор является компактным и более экономичным по сравнению с другими видами аккумуляторов (грузовым и воздушным поршневым).

На рисунке 2.20 показана схема устройства ковочного гидравлического пресса. В нижней поперечине 8, служащей станиной пресса и укрепленной на фундаменте, при помощи гаек закреплены четыре колонны 6. Вверху колонны соединены с верхней поперечиной 3. Верхняя и нижняя поперечины вместе с колоннами составляют жёсткую раму пресса. В верхней поперечине укреплен рабочий цилиндр 1, внутри которого помещен плунжер 2, связанный с подвижной поперечиной (траверсой) 4. В нижней части подвижной поперечины крепится верхний боёк 5. Нижний боёк 7 укреплен на нижней неподвижной поперечине. Вода (или масло) высокого давления по трубе *a* подаётся в рабочий цилиндр 1, давит на плунжер 2, который вместе с подвижной поперечиной и верхним бойком перемещается вниз для деформации слитка или заготовки. Перемещение подвижной поперечины вверх осуществляется с помощью двух подъёмных (возвратных) цилиндров 9, установленных в верхней неподвижной поперечине 3. Вода под давлением поступает по трубе *b* в подъёмные цилиндры, давит на подъёмные плунжеры 10, которые, поднимаясь, перемещают связанные с ними поперечину 11, тяги 12 и подвижную поперечину 4.

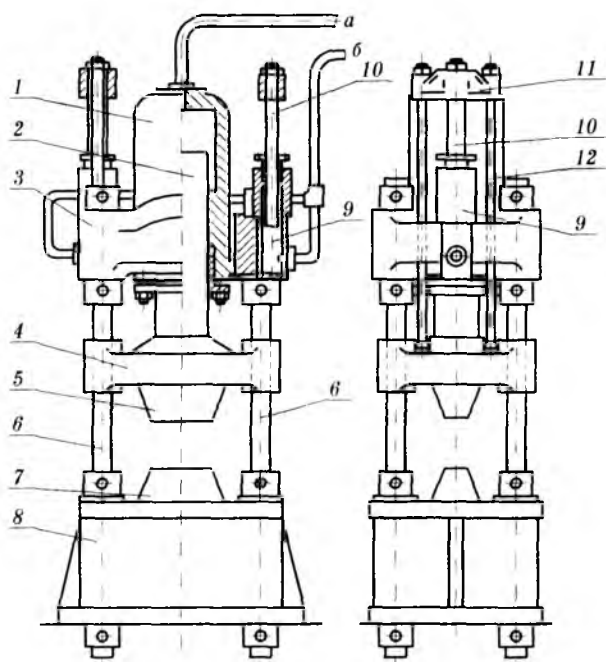


Рис. 2.20. Схема устройства гидравлического пресса:
1 — рабочий цилиндр; 2 — плунжер; 3 — неподвижная поперечина; 4 — подвижная поперечина; 5 — верхний боёк; 6 — колонны; 7 — нижний боёк; 8 — нижняя поперечина; 9 — подъёмные (возвратные) цилиндры; 10 — подъёмные плунжеры; 11 — поперечина; 12 — тяги

Рабочий цикл гидравлического пресса состоит из ряда периодов (ходов):

- 1) исходное положение — поддержание подвижной поперечины на весу для установки или кантовки заготовки;
- 2) холостой ход вниз (или ход предварительного наполнения) под действием на плунжер воды низкого давления до соприкосновения верхнего бойка с заготовкой;
- 3) рабочий ход при давлении на плунжер воды высокого давления, в течение которого происходит деформация металла;

- 4) обратный ход траверсы вверх под давлением на плунжеры обратного хода воды высокого давления; в конце обратного хода траверса возвращается в исходное положение.

На рисунке 2.20 показано исходное положение — поддержание подвижной поперечины на весу. Для этого после подъёма поперечины все клапаны распределительного устройства закрывают и перекрывается возможное поступление воды высокого давления в рабочий цилиндр, а также удерживается вода в возвратных цилиндрах, которая в данном случае является гидравлической подушкой, препятствующей перемещению вниз подвижных частей пресса — плунжера 2 и подвижной поперечины 4.

Для осуществления холостого хода (опускания подвижной поперечины) рабочий и возвратные цилиндры при помощи водораспределительного устройства (дистрибутора) соединяются с сетью низкого давления и вода из специального резервуара (наполнителя или аккумулятора низкого давления) поступает в рабочий цилиндр 1, а вода из возвратных цилиндров вытесняется в сливной бак. Благодаря этому подвижные части пресса опускаются до соприкосновения верхнего бойка с заготовкой.

Рабочий ход (деформация металла) производится при подаче в рабочий цилиндр воды высокого давления из воздушно-гидравлического аккумулятора (сети высокого давления), которая давит на плунжер, а последний на подвижную поперечину и верхний боёк, благодаря чему производится деформация заготовки. В это время возвратные цилиндры остаются соединёнными с сетью низкого давления.

После окончания рабочего хода подача воды высокого давления в рабочий цилиндр прекращается, и он соединяется со специальными наполнителями и сливным баком сети низкого давления; одновременно вода высокого давления подаётся в возвратные цилиндры. Подъёмные плунжеры поднимают поперечину в верхнее положение, а плун-

жер рабочего цилиндра вытесняет воду из рабочего цилиндра в наполнители и сливной бак сети низкого давления. Подвижная поперечина возвращается в исходное положение.

В современных прессовых установках в качестве рабочей жидкости применяют водные эмульсии и минеральные масла под давлением 20...32 МПа.

Гидравлические ковочные прессы имеют номинальное усилие 200...1500 т.

Парогидравлические прессы, в отличие от гидравлических, имеют привод от специального аппарата — мультипликатора, который может приводиться в движение паром, воздухом или электричеством. Рабочий цикл этого пресса состоит из тех же периодов (ходов), что и рабочий цикл гидравлического пресса.

2.5.4. Примеры изготовления поковок способом свободнойковки

Последовательность операцийковки устанавливают в зависимости от конфигурацииковки и технических требований на неё, от вида заготовки. На рисунке 2.21 приведена последовательность изготовления двух поковок: массивного полого цилиндра из слитка на прессе и рычага с вилкой на молоте.

Цилиндр куют из стального слитка (сталь 40) массой 18 т, применяя в течение его изготовления пять нагревов. Слиток отливают на поковку диаметром 1000 мм. После первого нагрева протягивают прибыльную часть под захват (патрон) кантователя и основную часть слитка до диаметра 1000 мм. Затем у слитка отрубают донную и прибыльную части, имеющие литейные дефекты (рис. 2.21, а). После второго нагрева выполняют осадку цилиндрической заготовки, прошивку отверстия и раскатку на оправке (рис. 2.21, б). После третьего нагрева — посадку на оправку и протяжку на длину 1100 мм (рис. 2.21, в). После чет-

вёртого — посадку на оправку и протяжку средней части на диаметр 900 мм (рис. 2.21, *з*). После пятого нагрева (нагревают только концевую часть А) — отковывают концевую часть А.

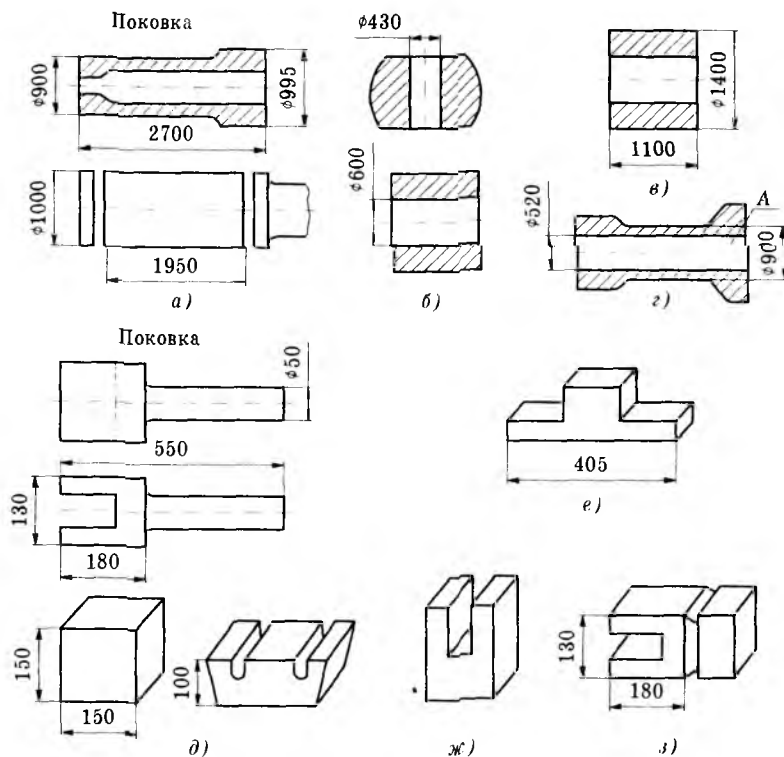


Рис. 2.21. Последовательность операцийковки
полого цилиндра и рычага с вилкой:

а — протяжка прибыльной части цилиндра на диаметр 1000 мм, отрубка донной и прибыльной части; *б* — осадка цилиндра, прошивка отверстия и раскатка на оправке; *в* — посадка на оправку и протяжка на длину 1100 мм; *г* — посадка на оправку и протяжка средней части на диаметр 900 мм, отковка части А; *д* — пережимка для боковин вилки; *е* — отковка боковин; *ж* — гибка боковин в приспособлении; *з* — пережимка для стержня рычага с последующей его протяжкой и отрубкой

Ковка рычага с вилкой из стального проката квадратного сечения показана на рисунке 2.21 в позициях *д-з*. Нагретую заготовку протягивают на прямоугольник и пережимают металл для боковин вилки. Затем отковывают боковины вилки (рис. 2.21, *е*) и загибают в приспособлении (рис. 2.21, *ж*), пережимают металл для стержня вилки и протягивают его до нужного диаметра (рис. 2.21, *з*). Конец стержня отрубают на заданную длину.

2.6. Производство заготовок штамповкой на молотах и прессах

2.6.1. Общие сведения

Горячая объёмная штамповка поковок осуществляется в штампах. Штамп состоит из двух разъёмных частей, внутренние полости которых в собранном виде образуют полость — ручки. Течение металла при деформации ограничивается формой и размерами внутренней полости штампа. Получаемые поковки отличаются высокой точностью размеров, большей сложностью конфигурации, хорошим качеством поверхности и меньшими припусками и допусками.

Вследствие перечисленных особенностей горячая объёмная штамповка обеспечивает значительную экономию металла, снижает трудоёмкость обработки в кузнечном цехе и при последующей механической обработке, повышает коэффициент использования металла и увеличивает производительность оборудования.

Горячую объёмную штамповку широко применяют в автомобильной, тракторной, транспортной, авиационной и других отраслях промышленности.

Горячую штамповку осуществляют на молотах, прессах и горизонтально-ковочных машинах.

При получении поковок штамповкой рабочим инструментом являются штампы, т.е. бойки, в которых выреза-

ют или изготавливают другим способом форму требуемой поковки. Штамп пригоден для получения поковки одного профилеразмера. Штампы изготавливают из высококачественных сталей 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ, 5ХНСВ, 3Х2В8Ф, 7ХЗ, 4Х8В2 и др.

Учитывая характер деформации металла и ряд других особенностей горячей штамповки на молоте, прессе или горизонтально-ковочной машине штампы различают для молотов, прессов и горизонтально-ковочных машин.

Верхняя и нижняя части штампа представляют собой монолитные детали, но бывают и сборными для экономии дорогой штамповой стали.

Различают объёмную штамповку на молоте в открытых и в закрытых штампах.

При штамповке в открытом штампе поковка получается с облоем (заусенцем) в месте примыкания её к разъёму штампа. При штамповке с облоем полость штампа хорошо заполняется металлом, так как объём берётся несколько больше объёма полости штампа. На рисунке 2.22, *а* показана простейшая схема облойной одноручьевой штамповки несложной по форме поковки 1 из цилиндрической заготовки 5. Штамп состоит из двух частей: верхней половины 7, присоединяемой к бабе молота, и нижней половины 8, закрепляемой на штамподержателе шабота молота при помощи специальных креплений и клиньев. Боковые поверхности ручьёв штампа для облегчения выемки поковок 6 имеют уклоны $\alpha = 3...12^\circ$. Нагретую заготовку 5 перед штамповкой укладывают в нижнюю половину штампа на торец. При ударах верхним бойком по заготовке металл заполняет ручей, формируя черновую поковку 4.

Наиболее трудно заполняются металлом углы внутренней полости штампа. Однако при осадке в штампе тонкий слой облоя 2, 3, образующийся вокруг поковки, препятствует дальнейшему значительному течению металла в облой и металл вынужден заполнять углы внутренней полости штам-

па. В результате поковка получается хорошо отформованной, даже при сложной конфигурации. В дальнейшем облой удаляют на обрезных штампах.

При штамповке в закрытом штампе образование облойа по месту разъёма штампа не предусматривается (безоблойная штамповка). На рисунке 2.22, б представлена схема штамповки на молоте в закрытом штампе. Верхняя 1 и нижняя 2 половины штампа образуют закрытую полость, и поковка 3 формируется в этой полости, не имея возможности выхода за её пределы. Это обеспечивается замком, представляющим собой плотное соединение двух конических поверхностей (конусность 1...2) верхней и нижней половин штампа.

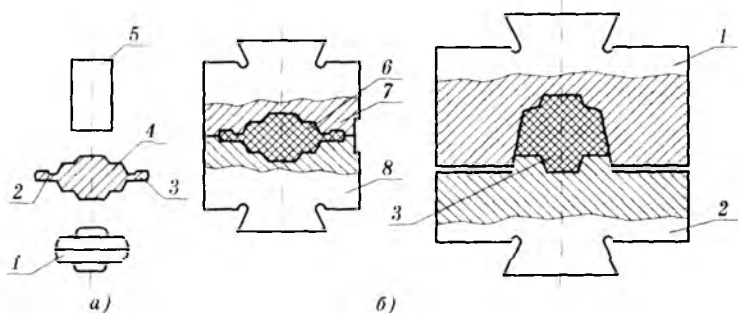


Рис. 2.22. Штампы для горячей штамповки на молоте:
а — открытый; 1 — готовая поковка; 2 и 3 — облой;
4 — черновая поковка; 5 — исходная цилиндрическая
заготовка; 6 — поковка; 7 — верхняя половина штампа;
8 — нижняя половина штампа;
б — закрытый; 1 — верхняя половина штампа;
2 — нижняя половина штампа; 3 — поковка в штампе

Для получения поковок в закрытом штампе требуется строгое равенство объёмов заготовки и объёмов полости штампа, так как в противном случае при избытке металла штамп не закроется и поковка не будет сформирована. При недостатке металла полость штампа неполностью заполнится и поковка будет забракована.

Штамповка на молоте может осуществляться в одноручьевых или многоручьевых штампах. Одноручьевые штампы (рис. 2.22) применяют для получения *I* поковок несложной конфигурации: форма и размеры полости штампа здесь соответствуют форме и размерам готовой горячей поковки. Поковки сложной формы изготавливают в многоручьевых штампах, состоящих из заготовительных ручьёв (протяжных, пережимных, гибочных, подкатных и т.д.), предназначенных для подготовки изделия к последующей штамповке, и штамповочных (черновых и чистовых) ручьёв, в которых производится окончательное формирование поковки. Заготовительные, черновые и чистовые штамповочные ручьи размещают в одном или в нескольких штампах.

На рисунке 2.23 показан многоручьевой штамп *I* для получения поковки *2* последовательно в нескольких переходах (протяжка *3*, подкатка *4*, черновая формовка *5* и чистовая формовка *6*). Нагретая заготовка поступает сначала в протяжной ручей *I*, где она под ударом молота протягивается для получения среднего тонкого сечения поковки. Затем в подкатном ручье *II* происходит перераспределение металла с целью получения утолщений. Далее заготовка поступает в черновой ручей *III*, в котором формируется черновая поковка. В чистовом ручье *IV* поковка получает окончательную форму и размеры. Облойную канавку предусматривают только вокруг чистового ручья. Получающийся облой в дальнейшем удаляют на обрезных штампах. Штампы для горячей штамповки на прессах имеют ряд отличительных особенностей, так как характер деформации металла при штамповке на прессе отличается от характера деформации металла при штамповке на молоте.

Штампы для прессов конструируют так, чтобы оформление поковки происходило постепенно за несколько переходов: сначала в заготовительных ручьях (для осадки, гибки и т.д.), где заготовка осаживается и её объём перерасп-

ределяется в соответствии с формой поковки, а затем в штамповочных ручьях (черновом и чистовом), в которых получают готовую поковку.



Рис. 2.23. Многоручьевого штампа для использования на молоте:

- 1 — штамп; 2 — поковка; 3 — протяжка; 4 — подкатка;
5 и 6 — черновой и чистовой переходы штамповки;
I — протяжной ручей; II — подкатной ручей;
III — черновой ручей; IV — чистовой ручей**

На рисунке 2.24, а приведён открытый штамп для штамповки шестерни с облоем на кривошипном прессе. Для изготовления шестерни использован сборный штамп, имеющий нижнюю 7 и верхнюю 4 плиты, в которых закреплены нижняя 2 и верхняя 6 ручьевые вставки при помощи упорных планок и болтов 1. Для обеспечения максимальной точности совпадения верхней половины штампа с нижней применяют направляющие колонки 3. Выталкивание поковок из ручья штампа производится выталкивателями 5 и 8.

Штамповка шестерни осуществляется так. Сначала исходная заготовка осаживается в заготовительном ручье I (рис. 2.24, б); при этом в процессе осадки металл освобождается от окалины. Затем заготовка пластически деформируется в черновом ручье III, где производится перераспределе-

ние объёма металла по конфигурации поковки. В чистовом ручье *II* получают готовую поковку с облоем, который затем удаляется на обрезном штампе.

Для безоблойной штамповки на прессе применяют закрытые штампы. Устройство закрытого сборного штампа аналогично устройству открытого сборного штампа.

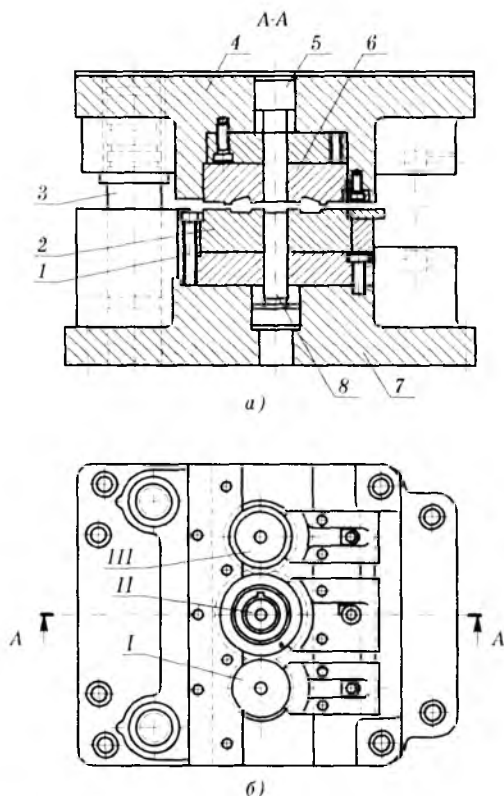


Рис. 2.24. Открытый сборный штамп со вставками для штамповки в прессе:
1 — болты; **2** — нижняя ручьевая вставка;
3 — направляющие колонки; **4** — верхняя плита;
5 — выталкиватель; **6** — верхняя ручьевая вставка;
7 — нижняя плита; **8** — выталкиватель;
I — заготовительный ручей; **II** — чистовой ручей;
III — черновой ручей

2.6.2. Технология штамповки на молотах

Для горячей объёмной штамповки применяют молоты, кривошипные горячештамповочные прессы, горизонтальноковочные машины, гидравлические прессы, винтовые прессы и машины для специализированных процессов штамповки. Процесс штамповки на машинах этого типа имеет свои особенности, обусловленные устройством и принципом их действия.

Основным видом штамповочных молотов являются паровоздушные штамповочные молоты (рис. 2.25, *а*). Принцип их действия тот же, что и паровоздушных ковочных молотов, но конструкция другая.

У штамповочных молотов стойки 5 станины устанавливают непосредственно на шаботе 1 и соединяют с последним с помощью болтов 3 с пружинами 2 (пружины амортизируют удар, предохраняя болты от поломки). Штамповочные молоты всегда имеют усиленные регулируемые направляющие 4 для движения бабы 7 молота. Масса шабота у штамповочных молотов в 20...30 раз больше массы падающих частей. Жёсткая конструкция молота обеспечивает более полное использование энергии удара. Конструктивные особенности штамповочных молотов обеспечивают необходимую при штамповке точность соударения штампов.

Штамповочные молоты имеют автоматизированное управление от педали, на которую штамповщик нажимает для нанесения удара. Если педаль отпустить, то баба молота автоматически возвращается в исходное положение за счёт автоматической подачи воздуха под поршень штока в рабочем цилиндре 6. Паровоздушные штамповочные молоты строят с массой падающих частей 630...25000 кг.

Кроме паровоздушных молотов двойного действия, для горячей штамповки применяют фрикционные молоты с доской (рис. 2.25, *б*) и бесшаботные молоты (рис. 2.25, *в*). У фрикционных молотов с доской 11 в бабе 7 закрепляют деревян-

ную доску, зажатую между вращающимися роликами 9, которые при вращении поднимают падающие части вверх. В верхнем положении доски с бабой ролики расходятся, и происходит свободное падение бабы. Кулачки 10 в целях безопасности надёжно удерживают бабу с доской в верхнем положении. Они отпускают доску при нажатии педали 8. Эти молоты имеют массу падающих частей 500...1500 кг, их применяют для штамповки мелких поковок.

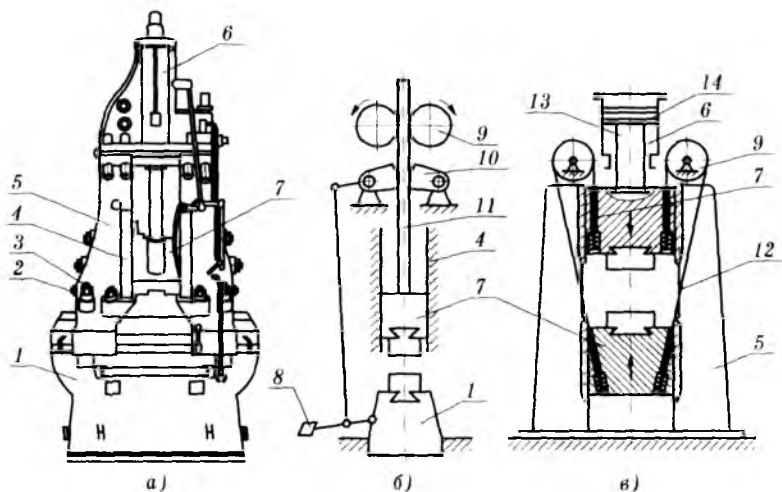


Рис. 2.25. Штамповочные молоты:

***а* — паровоздушный; *б* — фрикционный с доской;**

***в* — бесшаботный с двусторонним ударом;**

1 — шабот; 2 — пружина; 3 — болт с гайкой;

4 — направляющие; 5 — стойки; 6 — рабочий цилиндр;

7 — баба; 8 — педаль; 9 — ролики; 10 — кулачки;

11 — доска; 12 — гибкие тяги; 13 — шток; 14 — поршень

У бесшаботных паровоздушных молотов шабот заменён подвижной бабой 7, соединённой с верхней бабой механическими гибкими тягами 12 или гидравлической связью. Верхняя баба соединена со штоком 13. Движение падающих частей навстречу друг другу осуществляет поршень 14. При соударении верхней и нижней баб развивается значи-

тельная энергия (до 1,0 МДж), что позволяет штамповать на этих молотах крупные поковки преимущественно в одноручьевых штампах (из-за подвижности обоих штампов многоручьевая штамповка на них затруднена).

Всё большее распространение находят гидравлические молоты, подвижные части которых приводятся в действие жидкостью под давлением.

На штамповочных молотах верхнюю часть штампа закрепляют с помощью «ласточкина хвоста» и клиньев в бабе молота, а нижнюю — в подштамповой плите, в свою очередь, закреплённой тем же способом в шаботе молота.

На молотах штампуют поковки разнообразных форм преимущественно в многоручьевых открытых штампах. Так как ход молота нежёсткий, штамп конструируют так, чтобы при последнем ударе его половинки сомкнулись по плоскости соударения. На молоте обычно штампуют за несколько (3...5) ударов. После каждого удара баба молота уходит вверх, и в процессе деформирования наступает перерыв. Это приводит к тому, что часть поковки, деформируемая в верхнем штампе, охлаждается менее интенсивно, чем нижняя часть поковки. Поэтому на молотах верхняя полость штампа заполняется металлом лучше, чем нижняя. Течение металла облегчается также за счёт того, что после каждого удара окалина отваливается от поверхности заготовки и выдувается сжатым воздухом из штампа.

В закрытых штампах на молотах штампуют реже. Таким способом штампуют в основном поковки, имеющие в поперечном сечении круглую форму.

Массу падающих частей молота, необходимую для штамповки, определяют практически в зависимости от массы и конфигурации поковки по упрощённым эмпирическим формулам или на основании справочных данных. Ориентировочно можно принять, например, что на молоте с массой падающих частей 10 т можно штамповать поковки массой 40...100 кг. Если энергия удара молота оказывается недостаточной, штампуют за большее число ударов.

2.6.3. Технология штамповки на прессах

Практически основным оборудованием при штамповке на прессах являются кривошипные горячештамповочные прессы. Используемые в настоящее время прессы развивают усилие 6,3...100 МН. Такие прессы успешно заменяют паровоздушные штамповочные молоты с массой падающих частей 0,63...10 т. Кинематическая схема кривошипного горячештамповочного прессы приведена на рисунке 2.26.

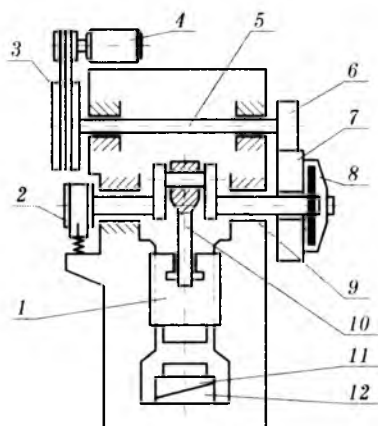


Рис. 2.26. Кинематическая схема

кривошипного горячештамповочного прессы:

- 1 — ползун; 2 — тормоз; 3 — шкив; 4 — электродвигатель;
5 — приёмный (промежуточный) вал; 6 — малое зубчатое
колесо; 7 — зубчатое колесо; 8 — пневматическая фрикционная
дисковая муфта; 9 — кривошипный вал; 10 — шатун;
11 — стол прессы; 12 — клин

Электродвигатель 4 передаёт движение клиновыми ремнями на шкив 3, сидящий на приёмном (промежуточном) валу 5, на другом конце которого закреплено малое зубчатое колесо 6. Это колесо находится в зацеплении с большим зубчатым колесом 7, свободно вращающимся на кривошипном валу 9. При помощи пневматической фрикционной дисковой муфты 8 зубчатое колесо 7 может быть сцеплено с кри-

вошипным валом 9; тогда последний придёт во вращение. Посредством шатуна 10 вращение кривошипного вала преобразуется в возвратно-поступательное движение ползуна.

Для остановки вращения кривошипного вала после выключения муфты служит тормоз 2. Стол пресса 11, установленный на наклонной поверхности, может перемещаться клином 12 и тем самым в незначительных пределах регулировать высоту штампового пространства. Для облегчения удаления поковки из штампа прессы имеют выталкиватели в столе и ползуне 1. Выталкиватели срабатывают при ходе ползуна вверх.

Кривошипные прессы имеют постоянный ход, равный удвоенному радиусу кривошипа. Поэтому в каждом ручье процесс штамповки осуществляется за один ход пресса, и в связи с этим производительность штамповки на прессах выше, чем на молотах. Наличие хода постоянной величины приводит к большей точности поковок по высоте, а высокая жёсткость конструкции пресса, отсутствие ударов и сотрясений делают возможным применение направляющих колонок у штампов, что практически исключает их сдвиг. Штамповочные уклоны у поковок также меньше, так как на прессах предусмотрены выталкиватели. При штамповке на кривошипных прессах имеются большие возможности для механизации и автоматизации процесса, чем при штамповке на молотах.

Наряду с перечисленными преимуществами штамповка на кривошипных прессах имеет и недостатки. Ввиду жёсткого хода ползуна на прессах при многоручьевой штамповке нельзя применять такие ручки, как протяжной, подкатной и отрезной.

Заготовка перед штамповкой на прессе должна быть полностью очищена от окалины, так как деформация происходит за один ход пресса; при наличии окалины она заштамповывается в поверхность поковки.

Стоимость кривошипного горячештамповочного пресса в 3...4 раза выше стоимости эквивалентного по мощности молота.

На кривошипных прессах возможна штамповка всех видов поковок, штампуемых на молотах. Однако при штамповке поковок с удлинённой осью и большой разницей площадей поперечных сечений по длине требуется применение предварительно профилированных заготовок.

Течение металла при штамповке на прессах отличается от течения в молотовом штампе, что необходимо иметь в виду при проектировании технологического процесса. Так как скорость деформирования на прессах ниже по сравнению с молотами, время контакта металла с инструментом больше, чем на молотах. Это приводит к переохлаждению поверхности заготовки и худшему заполнению полости штампа. С другой стороны, если при штамповке на молоте заусенец остывает и препятствует течению металла в стороны, то на прессе при деформировании за один ход в заусенец поступает наиболее нагретый металл. В результате течение его в горизонтальном направлении происходит легче, чем в вертикальном. Поэтому для хорошего заполнения прессового штампа плоскость разъёма выбирают вблизи торца поковки так, что полость в одной из частей штампа получается значительно глубже другой.

Из-за худшего заполнения полостей при штамповке сложных поковок на прессах увеличивают число ручьёв по сравнению с молотовыми штампами. Штампы на прессах должны смыкаться с образованием зазора величиной, равной толщине заусенца, поэтому полость для него делается открытой, в отличие от молотовых штампов.

Определение усилия, необходимого для штамповки на кривошипном горячештамповочном прессе, имеет большое значение, так как при недостаточном усилии пресса может произойти поломка оборудования. Существуют аналитические, экспериментально проверенные формулы для определения усилия штамповки с достаточной степенью точности.

Отсутствие ударных нагрузок при работе кривошипного пресса позволяет применять на нём сборные штампы. Сбор-

ный штамп состоит из отдельных вставок с соответствующими ручьями. Вставки закрепляют в специальных обоймах (башмаках) с направляющими колонками и втулками.

2.7. Производство заготовок штамповкой на горизонтально-ковочных и специальных машинах

2.7.1. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах

Штамповка на горизонтально-ковочных машинах является высокопроизводительным и экономичным методом обработки давлением. Применяемые машины выпускаются с усилием деформирования до 100 МН.

Штампы для штамповки на горизонтально-ковочных машинах обычно изготавливают многоручьевыми закрытыми. Они состоят из пуансона и разъёмных матриц (подвижной и неподвижной).

На этих машинах выполняют горячую высадку различных деталей (типа стержня с утолщением, со сквозным отверстием, с глухой полостью, сложной конфигурации и т.п.) из пруткового материала или труб в многоручьевых штампах. Конструкция штампов позволяет осуществлять также пробивку отверстий, обрезку по контуру, отрезку от прутка и т.д. Горизонтально-ковочные машины различаются типом разъёма матриц в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Общий вид и кинематическая схема горизонтально-ковочной машины (ГКМ) с вертикальным разъёмом матриц представлены на рисунке 2.27 и 2.28. Электродвигатель 1 через клиноременную передачу 2, маховик 3 и муфту включения 4 приводит во вращение приводной вал 5. Этот вал передаёт вращение коленчатому валу 7 с помощью зубчатой передачи 8. Коленчатый вал вращает эксцентрики 6, которые обеспечивают возвратно-поступательное движение

бокового ползуна, связанного штоком 17 и системой рычагов 16 с подвижной матрицей 15. Одновременно кривошип коленчатого вала с помощью шатуна 9 сообщает возвратно-поступательное движение главному ползуну 11 и связанному с ним пуансону 12. Штамп прессы имеет две поверхности разъёма и состоит из неподвижной матрицы 14, подвижной матрицы 15 и пуансона 12. При работе ГKM нагретый прутки закладывают в матрицу 14 и продвигают до упора 13. Упор связан со следящим роликом 10. При перемещении главного ползуна ролик сдвигает упор, а подвижная матрица 15 смыкается с неподвижной, образуя полость для формования. Подошедший пуансон деформирует заготовку, заставляя её заполнять полость формы. Одновременно он формует в заготовке внутреннюю полость.

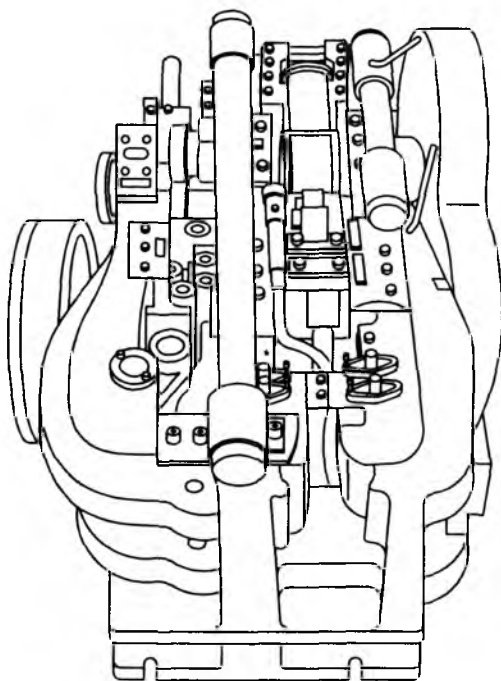
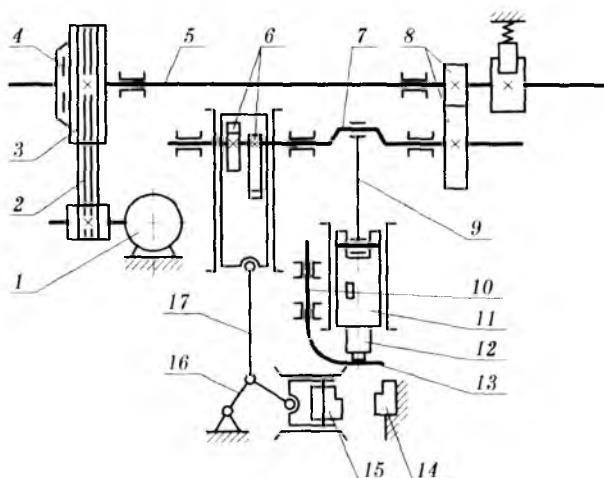


Рис. 2.27. Горизонтально-ковочная машина (общий вид)



**Рис. 2.28. Кинематическая схема
горизонтально-ковочной машины:**

- 1 — электродвигатель; 2 — клиноремённая передача;
3 — маховик; 4 — муфта; 5 — передаточный вал;
6 — эксцентрики и ползун боковой; 7 — коленчатый вал;
8 — зубчатая передача; 9 — шатун; 10 — следящий ролик;
11 — главный ползун; 12 — пуансон; 13 — упор;
14 — неподвижная матрица; 15 — подвижная матрица;
16 — система рычагов; 17 — шток бокового ползуна

Штамповку на горизонтально-ковочной машине можно выполнять за несколько переходов в отдельных ручьях, оси которых расположены горизонтально одна над другой. Каждый переход осуществляется за один рабочий ход машины. На горизонтально-ковочных машинах главным образом штампуют поковки типа стержня с фланцем, кольца, стакана, трубки с отбортовкой и др. Следует отметить, что стержни с фланцем или стаканы, а также некоторые другие поковки на другом оборудовании более рационально изготовить невозможно. В связи с тем, что штамп состоит из трёх частей, поковки извлекаются легче, чем из целого штампа, поэтому напуски и штамповочные уклоны у поковок отсутствуют или имеют малую величину. Точность по-

ковок и производительность штамповки на ГKM не ниже, чем у кривошипных горячештамповочных прессов (КГШП). Вместе с тем ГKM имеют меньшую универсальность и большую стоимость (в 1,5 раза), чем КГШП.

Основными операциями при штамповке на ГKM являются высадка фланца, прошивка сквозного или глухого отверстия.

Исходным материалом для штамповки на горизонтально-ковочных машинах обычно служит прокат круглого сечения. Так как на ГKM операцию протяжки не производят, то площадь поперечного сечения прутка должна быть не больше минимальной площади поперечного сечения поковки.

Свободный конец прутка, выступающий из зажимной части, можно высадить только в том случае, если длина его не превышает трёх диаметров. В противном случае возможен продольный изгиб заготовки, приводящий к заформовыванию складок изгиба и браку в поковках. Для заполнения полости матрицы, превышающей в сечении диаметр прутка более чем в три раза, производят постепенный набор металла, т.е. в последовательных наборных ручьях увеличивают поперечное сечение заготовки. Придерживаются также правила, чтобы диаметр полости матрицы или пуансона на первых переходах не превышал диаметр прутка в 1,25...1,5 раза.

Набор металла предпочтительнее всего осуществлять в полости пуансона, которой придают коническую форму. Меньший диаметр конуса приблизительно равен диаметру исходного прутка, больший диаметр имеет размер до полутора его диаметров, а длина прутка вне конуса до торца зажимной части должна быть не более двух диаметров исходного прутка.

Максимальная длина высаживаемой части прутка при многопереходной обработке (высадке) не должна превышать 12 её диаметров. На рисунке 2.29, а показаны типовые детали, получаемые на ГKM. Последовательность высадки примыкающих друг к другу конического и цилиндрическо-

го участков на прутке схематично представлена на рисунке 2.29, б.

После высадки происходит обратное движение ползунов поковка освобождается, и штамповщик убирает её или перекладывает в другой ручей.

Горизонтально-ковочная машина имеет холостой и рабочий ходы. Холостой ход начинается включением электродвигателя, когда вращается только шкив 3, но муфта 4 выключена; тормоз, находящийся на правой стороне приводного вала 5, удерживает его от вращения. При нажатии рабочим педали сжатый воздух поступает в муфту 4, включает её и приводит к вращению приводной вал. Одновременно поступающий воздух в тормоз освобождает затянутые ленты тормоза, и вращение с приводного вала передаётся на коленчатый вал.

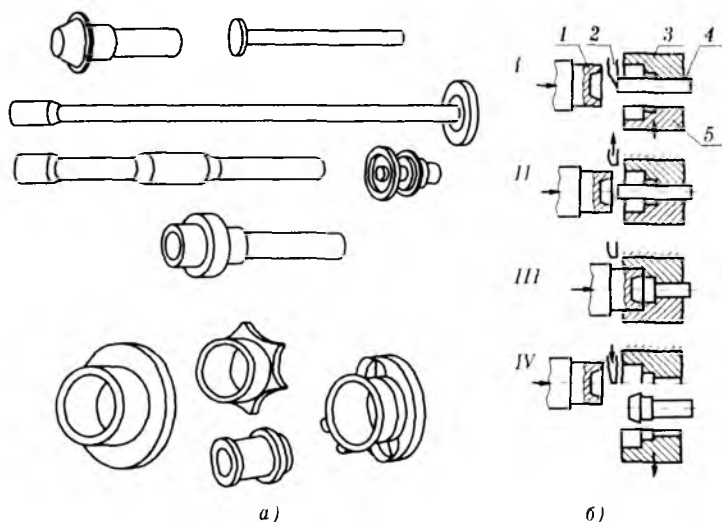


Рис. 2.29. Штамповка на ГКМ:

a — типовые поковки; *б* — схема процесса штамповки:
I — установка прутка 4 по упору 2; *II* — удаление упора и прижатие прутка подвижной матрицей 5 к неподвижной матрице 3; *III* — высадка пуансоном 1 головки заготовки; *IV* — удаление заготовки

Производительность горизонтально-ковочных машин высокая (400...900 поковок в час).

На отечественных заводах горизонтально-ковочные машины изготавливают усилием 1...31,5 МН (100...3150 т) с числом ходов 21...95 в минуту.

Для штамповки на горизонтально-ковочных машинах применяют заготовки диаметром 20...270 мм и массой до 100 кг.

2.7.2. Штамповка на специальных машинах

Штамповка на горизонтально-гибочных машинах. Горизонтально-гибочные машины — бульдозеры представляют собой горизонтальные кривошипные прессы с номинальным усилием 30...500 т (294...4900 кН). Они применяются для гибки различных деталей (хомутов, скоб, крюков и т.п.) из сортового проката в холодном или горячем состоянии за один или несколько переходов. Гибочные штампы состоят из матрицы, прикрепляемой к упорам станины машины, и из пуансона, закрепляемого на ползуне. Благодаря большому ходу ползуна и значительному штамповому пространству бульдозеры применимы для гибки крупногабаритных изделий.

Штамповка на ковочных вальцах (вальцовка). Эта штамповка напоминает продольную прокатку в одной рабочей клетки, на двух валках которой закрепляют секторные штампы, имеющие соответствующие ручки (рис. 2.30, а). Нагретую заготовку 1 подают до упора 2 в тот момент, когда секторные штампы 3 расходятся. При повороте валков происходит захват заготовки и обжатие её по форме полости; одновременно с обжатием заготовка выталкивается в сторону подачи.

На вальцах изготавливают поковки сравнительно несложной конфигурации, типа звеньев цепей, рычагов, гаечных ключей и т.п. Кроме того, на вальцах предварительно придают заготовке фасонную форму для последующей штам-

повки, чаще всего на кривошипных горячештамповочных прессах.

Профилируют и штампуют заготовки на вальцах в одном или нескольких ручьях. Исходное сечение заготовки принимают равным максимальному сечению поковки, так как при вальцовке происходит главным образом протяжка.

Штамповка на ротационно-ковочных машинах. На этих машинах осуществляют деформирование (радиальное обжатие), подобное операции протяжки и заключающееся в местном обжатии заготовки по её периметру. Заготовку 1 (рис. 2.30, б) в виде прутка или трубы помещают в отверстие между бойками 7 машины, находящимися в шпинделе 6. Бойки могут свободно скользить в радиально расположенных пазах шпинделя. При вращении шпинделя ролики 5, помещённые в обойме 4, будут толкать бойки 7, которые наносят удары по заготовке. В исходное положение бойки возвращаются под действием центробежных сил. Существуют машины, у которых вместо шпинделя с бойками вращается обойма с роликами; в этом случае для возвратного движения ползунов служат пружины.

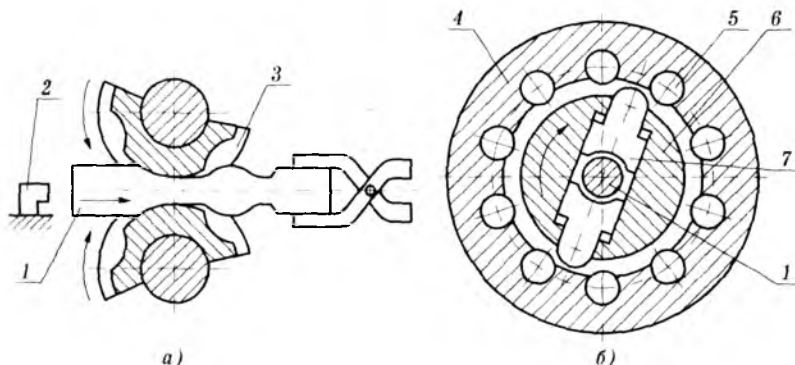


Рис. 2.30. Штамповка на ковочных вальцах (а) и ротационно-ковочных машинах (б):

1 — заготовка; 2 — упор; 3 — секторные штампы;
4 — обойма; 5 — ролики; 6 — шпиндель; 7 — бойки

В машинах первого типа получают поковки, имеющие форму тел вращения, в машинах второго — квадратного, прямоугольного и других сечений.

Машины первого типа имеют большее распространение, они предназначены для обработки тел вращения при исходном диаметре прутковой и трубной заготовки от 2 до 80 мм в холодном и до 125 мм в горячем состоянии. Машины второго типа используются для обработки некруглых тел. Частота вращения шпинделя с увеличением размеров машины уменьшается с 1200 мин^{-1} до 150 мин^{-1} . Выпуск заготовок составляет 100...600 шт в час.

Типовыми поковками, изготавливаемыми радиальным обжатием, являются различного рода ступенчатые цилиндрические или конические валики, трубы с оттянутыми на конус концами и т.п.

Высадка на электровысадочных машинах. Процесс высаживания заготовок ведут с помощью одновременного контактного электронагрева прутка и медленной подачи его в зону деформации. При свободной высадке (рис. 2.31) прутковая заготовка 2 упирается в торцовый опорный контакт 1 и зажимается радиальными контактами 3. За счёт сопротивления материала заготовки проходящему току участок заготовки между торцовым и радиальными контактами нагревается. Затем под действием осевого усилия, приложенного к свободному концу прутка, этот участок осаживается. На радиальные контакты действует сжимающая сила, обеспечивающая надёжный электрический контакт, но позволяющая перемещаться заготовке в контактах. Кроме свободной высадки, применяют высадку в матрицу, которую электрически изолируют от торцевого контакта.

Электровысадкой получают на прутке местные утолщения, размер которых может превышать диаметр прутка в 15...20 и более раз. Производительность машины ограничивается необходимостью совмещения нагрева и высадки.

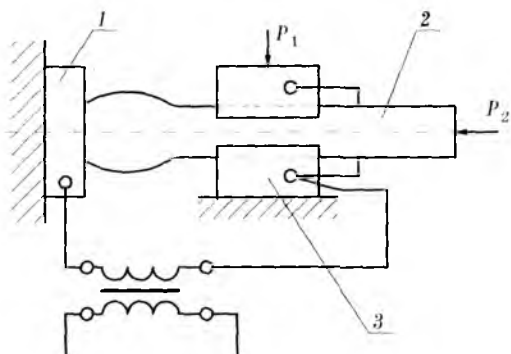


Рис. 2.31. Схема высадки заготовки на электровысадочной машине:
1 — торцевой опорный контакт;
2 — заготовка прутковая;
3 — радиальный контакт

Раскатка кольцевых заготовок на раскаточных машинах. Раскатка получила в промышленности особенно большое распространение при производстве колец подшипников. Схема процесса показана на рисунке 2.32, *а*. Заготовка 1 представляет собой кольцо с меньшим диаметром и большей толщиной стенки, чем у поковки. При подведении к заготовке 1, надетой на валок 2, быстро вращающегося валка 3, заготовка и валок 2 начинают вращаться. При дальнейшем сближении валков 2 и 3 увеличивается наружный диаметр заготовки за счёт уменьшения толщины и происходит её контакт с направляющим роликом 4, обеспечивающим получение поковки правильной кольцевой формы. После касания поковкой контрольного ролика 5 раскатка прекращается.

Раскаткой получают поковки колец с поперечными сечениями различной формы (зависящими от профиля валков), наружным диаметром 70...700 мм и шириной 20...180 мм (рис. 2.32, *б*). Заготовки под раскатку штампуют на горизонтально-ковочных машинах или на молотах.

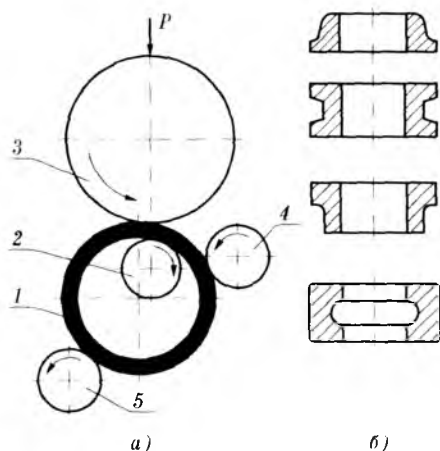


Рис. 2.32. Схема раскатки (а) и формы раскатанных заготовок (б):
 1 — заготовка; 2, 3 — валки; 4 — направляющий ролик;
 5 — контрольный ролик

Способ горячей накатки зубчатых колёс. Данный способ находит широкое применение, в частности, в автомобильной и тракторной промышленности. Сущность процесса заключается в обкатке нагретой штучной или прутковой заготовки в зубчатых валках.

Принципиальная схема одного из способов горячей накатки показана на рисунке 2.33. Поверхностный слой цилиндрической заготовки 1 нагревается током повышенной частоты с помощью индукторов 2. Зубчатый валок 4 получает принудительное вращение и радиальное перемещение под действием силы со стороны гидравлического цилиндра. Благодаря радиальному усилию зубчатый валок 4, постепенно вдавливаясь в заготовку 1, формирует на ней зубья. Ролик 3, свободно вращаясь на валу, обкатывает зубья по наружной поверхности. После прокатки прутковой заготовки её разрезают на отдельные шестерни. Процесс осуществляют на полуавтоматических установках, например на полуавтомате для горячего накатывания зубьев конических колёс диаметром 175...350 мм и модулем до 10 мм.

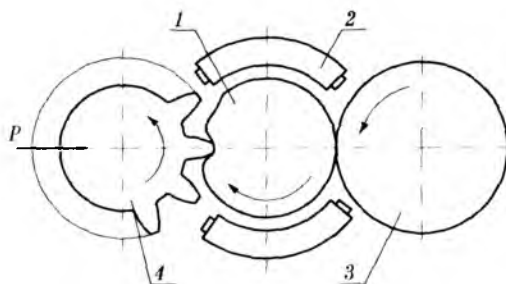


Рис. 2.33. Схема горячей накатки зубьев шестерни:
1 — заготовка; 2 — индуктор; 3 — ролик; 4 — зубчатый валок

Изготовление зубчатых колёс методом горячего накатывания повышает износостойкость и усталостную прочность зубьев на 30...50 %. Это объясняется, в частности, благоприятной макроструктурой металла заготовок, при которой волокна обтекают контуры зубьев. Расход металла на 18...40 % меньше, чем при получении зубьев на зуборезных станках, а производительность полуавтомата для накатки выше производительности зуборезного оборудования.

Штамповка на радиально-ковочных машинах. В отличие от штамповки на ротационно-ковочных машинах обработка на них осуществляется в вертикальном положении заготовок. Машины имеют три радиальных бойка, имеющих только поступательное движение. Эти машины преимущественно используются для обработки ступенчатых валов. Привод бойков не кулачковый, как в ротационно-ковочных машинах, а эксцентриковый. Машины имеют автоматическую подачу заготовки вдоль оси с программированной величиной вытяжки на отдельных участках поковки.

2.8. Холодная объёмная штамповка

Холодная объёмная штамповка представляет собой экономичный высокопроизводительный процесс изготовления небольших точных деталей из стали и цветных сплавов, позволяющий в несколько раз сократить (по сравнению с

обработкой резанием) технологические отходы металла. Обычно под холодной штамповкой понимают деформирование металла в штампе без предварительного нагрева заготовки, т.е. при комнатной температуре.

Основными операциями объёмной штамповки без нагрева металла являются объёмная формовка, холодное выдавливание (прессование), калибровка, холодная высадка и чеканка. Детали, изготавливаемые с помощью этих операций, показаны на рисунке 2.34, а, б, в. Они имеют размеры с отклонениями в пределах допусков 8-11-го квалитетов точности и шероховатость поверхностей от $Ra = 0,8$ мкм до $Ra = 0,2$ мкм. Такие показатели качества поверхности позволяют почти не применять последующие операции обработки резанием (за исключением сверления небольших отверстий, нарезания резьбы и т.п.).

Объёмная формовка (рис. 2.34, г) — операция, при которой детали получают путём обжатия заготовки штампом с заполнением ею рабочих полостей. Формовка выполняется в открытом штампе с выходом излишка металла в заусенец (который затем обрезается) или же в закрытом штампе, когда весь объём металла заготовки идёт на образование изделия. Наиболее производительным методом объёмной формовки является штамповка изделий в полосе, «цепочкой» с последующей обрезкой их на специальном штампе. Менее производительной является штамповка небольших деталей из стали или цветных сплавов из штучных заготовок в открытых или закрытых штампах.

Холодное выдавливание является операцией по изготовлению полых тонкостенных изделий из толстой заготовки путём истечения металла в зазор между пуансоном и матрицей. Оно выполняется прямым, обратным и комбинированным способами (рис. 2.34, д, е, ж) в штампах, основными частями которых являются пуансон 1 и матрица 2. Излишки металла, остающиеся на торцах деталей, затем обрезают. Для холодной объёмной формовки и выдавливания применяют двухстоечные мощные кривошипные прессы усилием

до 9,8 МН (1000 т). Холодная калибровка применяется для получения точных размеров и гладкой поверхности деталей, изготовленных горячей объёмной штамповкой, литьём из ковкого чугуна и другими методами.

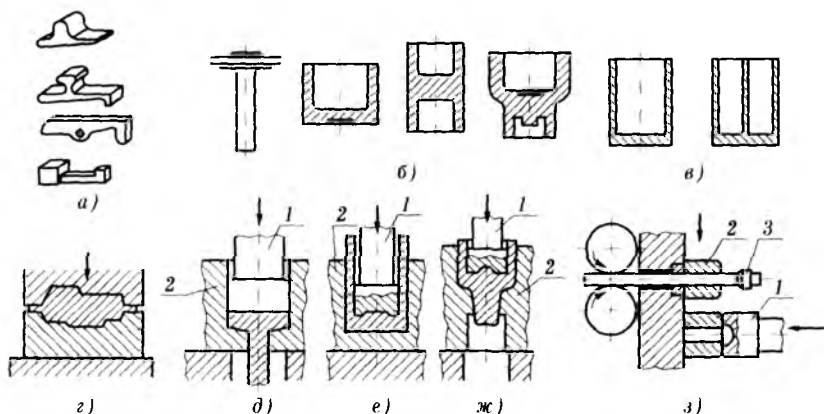


Рис. 2.34. Виды деталей (а, б, в)
и схемы операций холодной штамповки:

г — объёмная формовка; д — прямое холодное выдавливание;
е — обратное холодное выдавливание; ж — комбинированное
холодное выдавливание; з — холодная высадка;
1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — упор

Холодная высадка применяется для образования местных утолщений заготовки требуемой формы, например при штамповке головок болтов, заклёпок, винтов и т.п. Холодной высадкой изготавливают болты до диаметра М20 и гайки до размера М27. Холодная высадка головки заклёпки (рис. 2.34, з) выполняется в два перехода: пруток подаётся роликами до упора 3, затем матрица 2 перемещается на позицию высадки, отрезая при этом мерную заготовку от прутка. Высадка головки заклёпки производится ударом высадочного пуансона 1. Материалом для холодной высадки служат калиброванные путём волочения проволока и прутки из стали и цветных сплавов диаметром от 0,5 до 40 мм. Оборудованием для высадки служат холодновысадочные ав-

томаты, представляющие собой специальные горизонтальные кривошипные прессы. Производительность автоматов достигает 400 шт в минуту или 160 000 винтов диаметром 5 мм в смену. Трудоёмкость изготовления болтов на холодновысадочных автоматах в 200...400 раз меньше, чем на револьверных станках. Штамповка на холодновысадочных автоматах характеризуется высоким коэффициентом использования металла (до 95 %).

Современная автоматическая поточная линия для изготовления болтов М6-М12 без обрезки граней под ключ состоит из двухударного высадочного автомата для предварительного оформления головки болта (без граней), одноударного автомата повторной высадки для окончательного оформления шестигранной головки болта и резьбонакатного автомата. Автоматы соединены между собой желобами и элеваторами, автоматически транспортирующими полуфабрикаты от одной машины к другой. Производительность линии — 120 болтов в минуту.

Чеканка применяется в производстве монет, жетонов, медалей, столовых приборов и т.п. Это операция, посредством которой образуется выпукло-вогнутый рельеф на поверхности детали за счёт незначительного перемещения металла под давлением штампов, установленных на чеканочном прессе. При чеканке необходимы значительные удельные давления (1180-2940 МПа), зависящие от физико-механических свойств материала детали и сложности рельефа. В конструкции чеканочных прессов предусмотрена пружинная амортизация усилия пресса в нижней мёртвой точке подвижной части матрицы.

Холодное редуцирование (обжимка) представляет собой операцию, при которой производится сужение поперечного сечения прутков и труб. Обжимка выполняется на ротационно-ковочной машине, работающей посредством давления обжимных бойков со скоростью 6000 ударов в минуту и более при диаметре заготовок от 7 до 17 мм и свыше 11000 ударов в минуту для заготовок меньшего диаметра.

2.9. Холодная листовая штамповка

2.9.1. Общие сведения

Листовой штамповкой называют метод изготовления плоских и объёмных тонкостенных изделий из листового материала, ленты или полосы с помощью штампов на прессах или без применения прессов (беспрессовая штамповка). Листовая штамповка делится на горячую и холодную.

Горячая листовая штамповка является менее распространённым процессом, она применяется в производстве котельных днищ, полушарий, бueв и других корпусных деталей для судостроения, изготавливаемых из стального листа толщиной свыше 3...4 мм. Основными операциями горячей листовой штамповки являются вытяжка полых сферических изделий из плоской заготовки, вырезанной предварительно на дисковых ножницах, вырубка деталей, а также гибка скоб и других изделий из полосовой стали и толстого листа. Применяемое оборудование: гидравлические, кривошипные и фрикционные прессы.

Холодная листовая штамповка — наиболее прогрессивный метод обработки давлением, получивший широкое применение в промышленности. Холодной штамповкой изготавливают как весьма крупные детали — рамы и кузова автомобилей, детали фюзеляжей и шасси самолётов, элементы обшивки судов, так и очень мелкие — детали часовых механизмов, радиоламп, авторучек.

К технико-экономическим преимуществам холодной штамповки перед другими видами обработки металлов относятся:

- высокий коэффициент использования материала (отходы не более 15...20 %);
- массовый выпуск и низкая стоимость изготавливаемых изделий с высокой точностью размеров и хорошим качеством поверхности;

- высокая производительность оборудования с полной механизацией и автоматизацией производства;
- возможность получения полых тонкостенных изделий сложных форм, являющимися готовыми взаимозаменяемыми деталями и не требующими последующей обработки;
- простота работы на штамповочных прессах и возможность обслуживания их малоквалифицированными рабочими.

Холодная штамповка, дающая наибольший эффект в массовом и крупносерийном производстве, успешно применяется и в условиях мелкосерийного производства, при выпуске деталей 5...10 тыс. шт в год. Исходным материалом для холодной листовой штамповки являются листы, полосы и ленты из различных металлов и сплавов. В качестве неметаллических материалов используются слюда, кожа, фибра, текстолит, целлулоид, гетинакс и другие пластмассы. Толщина листовых материалов обычно не превышает 3...5 мм.

2.9.2. Технологические операции листовой штамповки

Операции листовой штамповки делятся на две основные группы: разделительные, в которых одна часть заготовки отделяется от другой, и формоизменяющие, с помощью которых получают изделия сложной формы за счёт перемещения элементарных объёмов материала исходной заготовки без её разрушения. Применяют также сборочные операции, при которых отдельные детали под давлением штампа соединяются в общий узел.

К основным разделительным операциям относят резку, вырубку и пробивку.

К основным формоизменяющим операциям относят гибку, вытяжку, обжим, отбортовку и формовку.

Резка — последовательное отделение части заготовки по прямой или кривой линии. Резка применяется обычно как

заготовительная операция для раскроя листа на полосы заданной ширины, поступающие затем на штамповку вырубкой. Резка выполняется обычно на гильотинных ножницах с верхним наклонным ножом, разрезающих лист по прямой линии; резку заготовок с криволинейным контуром выполняют на дисковых или вибрационных ножницах (при малой толщине листа). Резка небольших заготовок (полосок) выполняется штампами, установленными на кривошипных прессах.

Для получения точной заданной ширины полосы или длины заготовки ножницы и штампы снабжаются упорами.

Резка ножницами позволяет получать контуры листовой заготовки ограниченной конфигурации, так как у заготовок со сложным контуром края сминаются. Поэтому для получения фасонных заготовок применяют вырубку по контуру в штампах или пробивку.

Вырубка — операция одновременного отделения материала от заготовки по замкнутому контуру, причём отделяемая часть чаще всего не подвергается последующей обработке и используется как готовая деталь. На рисунке 2.35 показан штамп для вырубки, состоящий из матрицы 1 и пуансона 2, а также вспомогательных деталей фиксирующих положение заготовки. Матрица и пуансон имеют острые рабочие кромки. Для нормального протекания процесса вырубки зазор между отверстием матрицы и пуансоном должен быть не более величины z , которая определяется по формуле:

$$z = ks,$$

где s — толщина листа;

k — коэффициент, равный 0,05...0,5.

Чем больше величина k , тем сильнее заминаются края по контуру вырубки. Практически на производстве зазор между пуан-

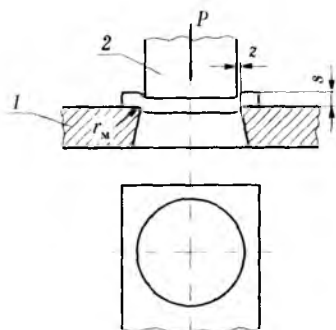


Рис. 2.35. Схема вырубки по контуру:
1 — матрица; 2 — пуансон;
 s — толщина листа

соном и отверстием матрицы (на сторону) составляет 5...10 % толщины заготовки. При пробивке, когда задаются размеры отверстия, размеры сечения пуансона берут равными размерам отверстия. Размеры отверстия матрицы увеличивают на величину зазора. При вырубке диаметры отверстия матрицы задают равными размерам изделия, а размеры пуансона — меньше на величину зазора.

Для повышения точности размеров штампуемых деталей до 7...9 качества и обеспечения показателей шероховатости поверхности в пределах от $Ra = 0,8$ мкм до $Ra = 0,4$ мкм в производстве часов и точных приборов применяется зачистка — операция срезания неровностей, оставшихся после вырубки или пробивки.

Усилие, необходимое для выполнения вырубки и других разделительных операций, определяют, умножая площадь сечения одновременно разрезаемого материала на удельное сопротивление его срезу.

При вырубке наружные части заготовки идут в отход, который называют высечкой. С целью уменьшения отхода и повышения выхода годных заготовок применяют вырубку заготовок на ленте в шахматном (для круглых или равноосных форм) или наклонном (для удлинённых форм) положении относительно друг друга.

Пробивка — получение отверстий путём отделения материала по замкнутому контуру внутри детали. При пробивке отделяемая часть является отходом. Отличие этой операции от предыдущей заключается только в их назначениях. Вырубкой получают наружный контур заготовки, а пробивкой — внутренний. Процесс деформирования металла при вырубке и пробивке одинаков, устройства штампов, применяемых для этой операции, также одинаковы. Вырубку и пробивку выполняют пуансоном, который выдавливает отделяемую часть заготовки в отверстие матрицы. С помощью последовательной работы пробивного и вырубного пуансонов в штампах последовательного или совмещённого действия изготавливают шайбы под головки винтов или болтов.

К операциям изменения формы относят гибку, вытяжку без утонения стенки, вытяжку с утонением стенки, формовку и др.

Гибка — формоизменяющая операция для получения изогнутой детали из плоской заготовки.

При гибке (рис. 2.36) одну часть или несколько частей листовой заготовки изгибают относительно других её частей. Различают гибку одно-, двух-, четырёх- и многоугловую. Большинство гнутых деталей может быть выполнено с помощью двух приёмов гибки: V-образная гибка в матрице, имеющей углубление со стенками, образующими тупой угол (одноугловая, рис. 2.36, *а*) и U-образная гибка в матрице со стенками, образующими прямой угол (двухугловая, рис. 2.36, *б*). Чем больше радиус угла, тем легче протекает процесс гибки, меньше опасность появления трещин и проявлений искажений формы изделия.

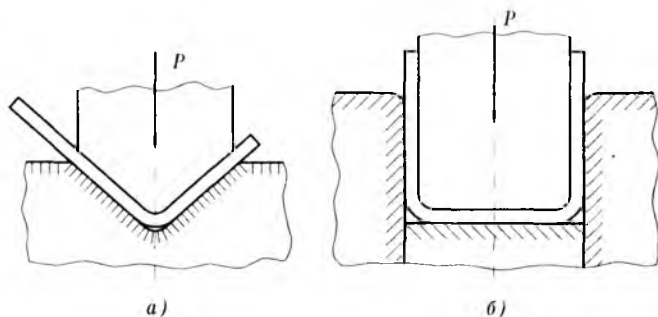


Рис. 2.36. Схема гибки листового материала:
а — гибка в тупой угол; *б* — гибка в прямой угол

Вытяжка — наиболее сложная операция холодной листовой штамповки, при которой плоская заготовка превращается в полое тело (колпачок). По характеру деформации металла вытяжку различают без утонения стенки и с утонением стенки изделия.

Вытяжка без утонения стенки (рис. 2.37, *а*) выполняется в вытяжном штампе, у которого зазор между пуансоном 2

и матрицей 1 штампа на 5...10 % больше толщины заготовки. Радиусы закругления рабочих кромок матрицы и пуансона (r_m и r_n) обеспечивают плавность превращений круглой листовой заготовки в объёмный колпачок. При вытяжке изделий плоская часть заготовки (фланец) может свёртываться с образованием складок. Для предотвращения образования складок применяют прижимы 3. За один проход при вытяжке можно получить колпачок с отношением его внутреннего диаметра d к диаметру листовой заготовки D до 0,55 при относительно небольшой высоте колпачка, так как при увеличении глубины вытяжки возможно нарушение целостности металла. Поэтому, в зависимости от соотношения высоты и диаметра получаемой детали, а также от относительной толщины заготовки, вытяжка осуществляется за один или несколько переходов.

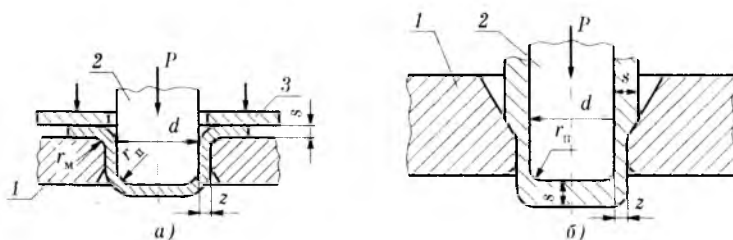


Рис. 2.37. Схема вытяжки листового материала:
1 — матрица; 2 — пуансон; 3 — прижим

При вытяжке заготовки без утонения стенки изменением толщины металла в зонах закруглений можно пренебречь. Зазор между пуансоном и матрицей при вытяжке в среднем должен быть на 10 % больше толщины листа, т.е. $z = 1,1s$, а радиус рабочих кромок матрицы $r_m = (5...10)s$.

При листовой штамповке возможна вытяжка с утонением стенок заготовки (рис. 2.37, б). В этой операции необходимо иметь зазор между пуансоном и матрицей, величина которого меньше толщины листа. Обычно утонение стенок за один проход не превышает 30...35 % начальной толщины листа. В связи с этим $z = (0,85...0,65)s$.

Формовка — операция, изменяющая форму заготовки или полуфабриката посредством создания местных деформаций, например изготовлением рёбер жёсткости (зигов), увеличением диаметральных размеров средней части полых детали. Цель формовки состоит в придании заготовке жёсткости и объёмности. Большая часть корпусных деталей автомобиля подвергается формовке. Соединение отформованных деталей придаёт изделию объёмную форму (например, двери автомобиля, капот и др.).

В машиностроении часто применяют формовку части изделия. Например, расширение средней части вытянутого стакана осуществляется с помощью резинового вкладыша, стальных шариков или жидкости в разъёмной матрице. Сужение отдельной части изделия может быть произведено с помощью обжима в матрице.

2.9.3. Инструмент для листовой штамповки

Штампы для листовой штамповки принято классифицировать по технологическим, конструктивным и эксплуатационным признакам. Иногда их классифицируют по технологическим признакам и типу производства (серийности).

Классификация листовых штампов по технологическим признакам. По типу и характеру выполняемых операций различают штампы простого действия (однопереходные) и комбинированные (многопереходные). Комбинированные штампы, в свою очередь, разделяются на штампы последовательного и совмещённого действия.

Штампы простого действия или однопереходные предназначены для выполнения за один рабочий ход пресса какой-либо одной операции листовой штамповки, например, вырубки, гибки, вытяжки и т.д.

Штампы последовательного действия относят к группе комбинированных (многопереходных). Они могут выполнять несколько операций штамповки при перемещении заготовки в направлении подачи. В штампе (рис. 2.38), объединяю-

щем несколько инструментов, расположенных в ряд и предназначенных для пробивки и вырубки, в нижней плите 1 при помощи держателя 2 укреплены матрицы пробивки 3 и вырубки 10. Верхнюю плиту 6 штампа при помощи хвостовика 7 крепят к ползуну прессы. К верхней плите штампа при помощи держателя 5 на расстоянии шага подачи крепят пуансон пробивки 4 и пуансон вырубки 8. Для совпадения осей пуансонов и матриц штамп имеет направляющие колонки и втулки. Полоса подаётся за каждый рабочий ход прессы вперёд на величину шага подачи до упора 9. После очередной операции вырубки полоса при перемещении в направлении шага подачи приподнимается так, чтобы перемычка прошла над упором; затем она опускается и подаётся вперёд до упора, после чего осуществляется очередной рабочий ход. Таким образом, при каждом ходе прессы заканчивается двухоперационная штамповка одной детали.

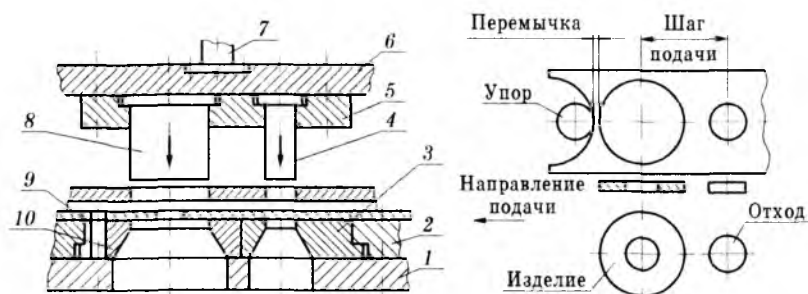


Рис. 2.38. Штамп последовательного действия:

1 — нижняя плита; 2 — держатель матрицы; 3 — матрица пробивки; 4 — пуансон пробивки; 5 — держатель пуансона; 6 — верхняя плита; 7 — хвостовик; 8 — пуансон вырубки; 9 — упор; 10 — матрица вырубки

Штампы совмещённого действия применяют для выполнения за один рабочий ход прессы двух, трёх и более операций. В штампе (рис. 2.39) в нижней плите 1 крепят матрицу вырубки 2, в которой помещается прижим 3, всё время удерживаемый стержнями 11 с пружинами в край-

нем верхнем положении. В нижней плите неподвижно закреплён пуансон вытяжки 4.

Полоса 5 продвигается вперёд в направлении подачи до упора 10. При рабочем ходе пуансон вырубки 9 (он же является матрицей вытяжки), прикрепляемый в верхней плите 7 при помощи держателя 8, нажимает на полосу и, утапливая прижим 3 в матрицу вырубки, осуществляет вырубку заготовки. При опускании пуансона вырубки 9 вместе с прижимом 3 происходит вытяжка колпачка пуансоном 4, поскольку последний закреплён в нижней плите 1 неподвижно. В этом случае пуансон вырубки с осевым отверстием служит матрицей вытяжки. К концу рабочего хода процесс вытяжки колпачка заканчивается. При обратном ходе ползуна, а вместе с ним верхней плиты и матрицы вытяжки деталь выбрасывается из матрицы выталкивателем 6.

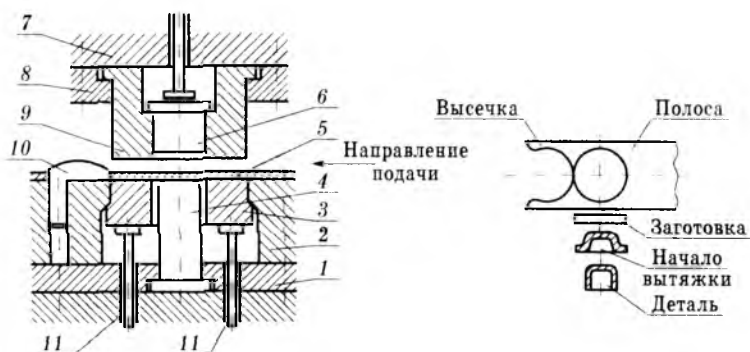


Рис. 2.39. Штамп совмещённого действия:

- 1 — нижняя плита; 2 — матрица вырубки; 3 — прижим;
4 — пуансон вытяжки; 5 — полоса; 6 — выталкиватель;
7 — верхняя плита; 8 — держатель пуансона; 9 — пуансон
вырубки; 10 — упор; 11 — удерживающие стержни

Большую группу составляют специальные штампы для раздачи заготовки изнутри с помощью жидкостей, резины, сыпучих тел, сжатого воздуха и взрывчатых веществ. На рисунке 2.40 показана схема штамповки детали с помощью жидкости. Листовую заготовку 2 укладывают на матрицу 1.

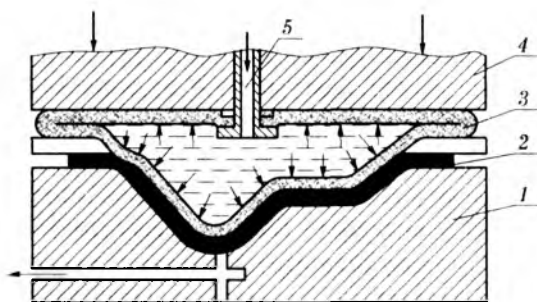


Рис. 2.40. Схема штамповки детали с помощью жидкости:
 1 — матрица; 2 — листовая заготовка; 3 — резиновый мешок;
 4 — пуансон; 5 — отверстие для подачи жидкости

Пуансон 4 с прикреплённым снизу резиновым мешком 3, наполненным жидкостью, давит на заготовку. В резиновый мешок через отверстие 5 дополнительно подаётся жидкость. Листовая заготовка при этом деформируется, принимая форму ручья в матрице.

2.9.4. Оборудование для листовой штамповки

Прессы для листовой штамповки. Основным оборудованием для листовой штамповки являются ножницы и прессы.

По принципу действия различают механические, гидравлические, электромагнитные и пневматические прессы. Для холодной листовой штамповки из механических прессов наиболее часто применяют кривошипные прессы.

По технологическому признаку приводные механические прессы различают простого, двойного и тройного действия, автоматы, чеканочные, многопозиционные и др. Прессы простого действия имеют один движущийся ползун и предназначены для вырезки, пробивки, гибки, формовки, неглубокой вытяжки и других операций. Прессы двойного действия имеют два независимо движущихся ползуна: наружный — для прижима заготовки и внутренний — для глубокой вытяжки. Прессы тройного действия имеют два верхних пол-

зуна и один нижний (или движущийся стол); эти прессы применяются, например, на автомобильных заводах для штамповки некоторых деталей кузова автомобиля.

Кривошипные прессы простого действия изготавливают разных типов: одно- и двухстоечные, с открытой и закрытой станинами, одно-, двух- и четырёхкривошипные.

Общий вид двухстоечного двухкривошипного прессы простого действия с закрытой станиной показан на рисунке 2.41. Станина прессы состоит из основания 1, стоек 2 и 5 и головки или траверсы 3, которые стянуты четырьмя болтами. Привод прессы осуществляется от электродвигателя 4, укрепленного на траверсе.

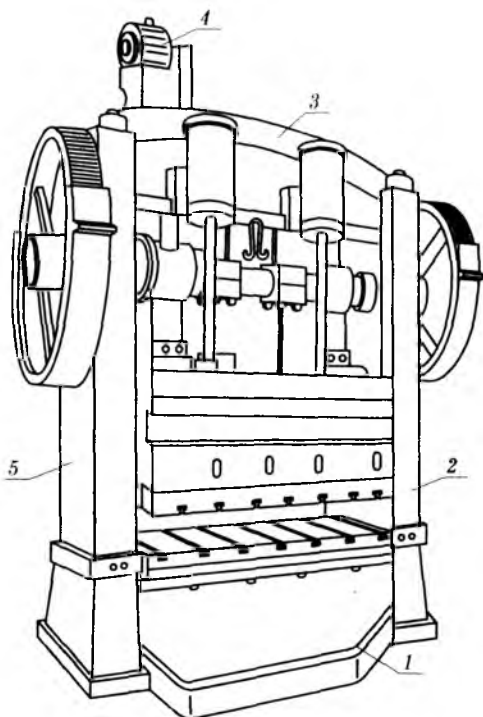


Рис. 2.41. Двухстоечный кривошипный пресс простого действия для холодной листовой штамповки:
1 — основание; 2 — стойка; 3 — головка (траверса);
4 — электродвигатель; 5 — стойка

Кинематическая схема этого пресса представлена на рисунке 2.42. Вращение от электродвигателя 4 через клиноременную передачу передаётся на маховик 6 и приёмный вал 1, который приводится во вращение муфтой 5. Посредством зубчатой пары 2 вращение передаётся промежуточному валу 7 и далее через зубчатые пары 8 и 17 — двухколенчатому валу 9. Двухколенчатый вал обеспечивает возвратно-поступательное движение шатунов 10 и 16, которые через регулировочное приспособление 13 связаны с ползуном 12. Регулировочное приспособление служит для устранения перекосов ползуна и регулирования межштампового пространства.

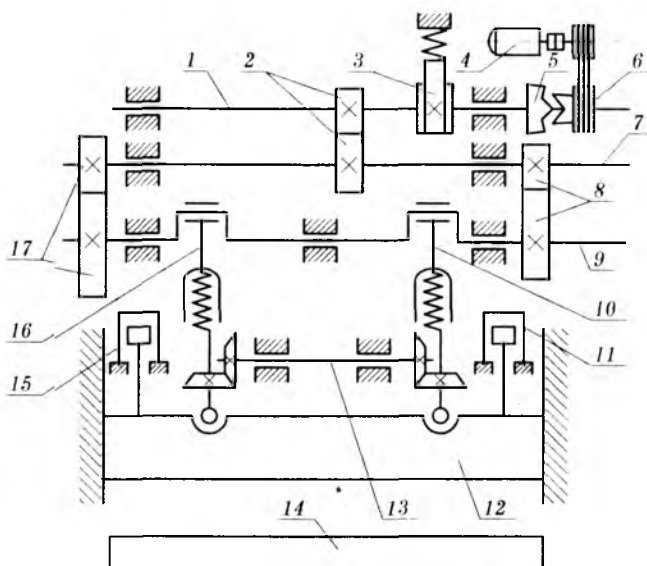


Рис. 2.42. Кинематическая схема

кривошипного пресса простого действия:

- 1 — приёмный вал; 2 — зубчатая пара; 3 — тормоз;
 4 — электродвигатель; 5 — муфта сцепления; 6 — маховик;
 7 — промежуточный вал; 8 — зубчатая пара;
 9 — двухколенчатый вал; 10 — шатун; 11 — пневматический цилиндр;
 12 — ползун; 13 — регулировочное устройство;
 14 — матрица (стол); 15 — пневматический цилиндр;
 16 — шатун; 17 — зубчатая пара

Ползун пресса имеет пневматические цилиндры 11 и 15, которые обеспечивают плавную и бесшумную работу зубчатых передач, предотвращают падение ползуна в случае выхода из строя муфты сцепления 5 и тормоза 3, а также помогают электродвигателю при подъёме ползуна.

При включении муфты 5 тормоз 3 автоматически выключается, а при выключении муфты — включается и тем самым прекращается дальнейшее движение ползуна. Ползун с помощью установленного на нём пуансона воздействует на заготовку, установленную на матрицу 14, закреплённую на столе пресса.

На прессе допускаются одиночные, автоматические и толчковые ходы ползуна.

Управление прессом кнопочное и педальное. Для прижима заготовки и выталкивания поковок пресс имеет пневматическую подушку и механический выталкиватель.

По специальному заказу изготавливают прессы модели усилием 4 МН (400 т) с увеличенным ходом ползуна. Их применяют не только для вырубки, пробивки и просечки, но и для неглубокой вытяжки.

Двухкривошипные закрытые прессы простого действия изготавливают с номинальным усилием 1...31,5 МН (100...3150 т) с ходом ползуна 125...500 мм (или 250...800 мм) и числом ходов ползуна 7...40 в минуту.

Листовые ножницы. Листовые ножницы в зависимости от размеров и мощности предназначаются для разрезания металла в холодном состоянии толщиной до 60 мм при длине реза от 1 до 6 м. Ножницы по конструкции представляют собой специализированный двухкривошипный пресс с большой длиной ползуна, соответствующей длине линии отрезки. Кинематическая схема ножниц похожа на схему обычного кривошипного пресса. Основными частями ножниц являются станина с горизонтальным столом, на котором укреплён неподвижно нижний нож, двухкривошипный вал, приводимый в действие от электродвигателя через клиноременную передачу, промежуточный вал с зубчатыми ко-

лѣсами и ползун, получающий возвратно-поступательное движение вверх и вниз от кривошипно-шатунного механизма. На ползуне закреплѣн, обычно наклонно к нижнему, верхний нож. Такие ножницы называются гильотинными. Наклон верхнего ножа до 12...15° значительно уменьшает усилие резки, которое можно определить по формуле:

$$P = \frac{0,5t^2\sigma_{\text{ср}}}{\text{tg } \alpha},$$

где $\sigma_{\text{ср}}$ — сопротивление металла срезу;

t — толщина материала;

α — угол скоса верхнего ножа.

Разрезаемый лист укладывается на стол ножниц, прижимается пневматическим прижимом и разрезается верхним ножом при опускании ползуна. Отрезка производится по разметке или по заданному регулируемому упору. Разрезку листа и лент вдоль можно производить на дисковых и роликовых ножницах.

2.9.5. Технологический процесс листовой штамповки

Выбор рационального технологического процесса листовой штамповки зависит от числа изготавливаемых деталей (серийности), формы детали, заданной точности изготовления и качества поверхности.

При мелкосерийном производстве деталей экономически целесообразно применять универсальные штампы простого действия со сменными пуансонами и матрицами, а при крупносерийном — сложные комбинированные штампы, обеспечивающие высокую производительность.

Для изготовления плоских деталей невысокой точности обычно предусматривают только вырубку и пробивку, а для этих же деталей, но высокой точности предусматривают дополнительно зачистку, правку и другие операции. При изготовлении объѣмных тонкостенных деталей высокой точности применяют вырубку, формовку, правку, калибровку и т.д.

В общем случае при изготовлении любых деталей технологический процесс включает следующие операции:

- 1) подготовка материала;
- 2) получение заготовок (резкой, вырубкой по контуру, пробивкой);
- 3) формоизменение заготовок (гибкой, вытяжкой, формовкой и т.д.);
- 4) термическая обработка (перед штамповкой, если структура и механические свойства металла неудовлетворительны; для снятия наклёпа после нескольких операций формоизменения; после окончания штамповки для получения заданной структуры и свойств металла);
- 5) отделка (калибровка, галтовка для удаления заусенцев, травление, промывка, полирование, нанесение покрытий и т.д.).

При разработке технологического процесса по чертежу готовой детали с учётом конструктивных и технологических требований определяют форму и размеры заготовки, выбирают исходный материал (лист, ленту, полосу) и устанавливают способ его раскроя (с отходами, без отходов). Затем определяют число и последовательность операций, разрабатывают конструкцию штампов, выбирают смазку. После этого определяют тип и номинальное усилие прессы, ход ползуна, устанавливают необходимость применения термической обработки и виды отделочных операций, а также методы контроля точности и качества деталей, нормы времени и т.д. Размеры плоской заготовки при вытяжке полых тел определяются несколькими методами; равенством площадей, объёмов и масс.

При вытяжке без утонения стенки наибольшее распространение получил метод равенства площадей. Поверхность готового изделия условно разделяют на ряд геометрических фигур, площадь которых легко подсчитать. Приравнивая сумму всех элементов поверхностей готового изделия площади заготовки, находят её размеры.

При вытяжке тонкого листового материала (с толщиной стенки до 1,0 мм) поверхность изделия, например, цилиндра, подсчитывают по наружному диаметру и внутренней высоте. При более толстом материале поверхность подсчитывают по среднему диаметру.

Если готовое изделие состоит из n простых поверхностей $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$, то диаметр исходной заготовки D_3 можно определить по формуле:

$$D_3 = \sqrt{\frac{4}{\pi} (F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n)} = 1,13 \sqrt{\sum F}.$$

После определения формы и размеров заготовки выбирают способ раскроя материала, стремясь при этом повысить коэффициент использования материала рациональным расположением детали на листе или полосе, получением минимальных размеров перемычек между деталями и максимальным использованием отходов на другие детали (заготовки).

При штамповке мало- и среднегабаритных деталей обычно из листовой заготовки вырубают несколько плоских заготовок для штамповки. Между смежными контурами вырубаемых заготовок обычно оставляют перемычки шириной, приблизительно равной толщине заготовки. В отдельных случаях смежные заготовки вырубают без перемычек. Этот метод ведёт к экономии металла, но снижает качество среза и стойкость инструмента. Расположение смежных контуров вырубаемых заготовок на листовом металле называется раскромом. Тип раскроя следует выбирать из условия уменьшения отхода металла в высежку. Примеры раскроя металла приведены на рисунке 2.43.

Для получения заготовок на соответствующем оборудовании после очистки и смазки исходного материала производят его разделку при помощи операций деления: резки, вырубки по контуру, пробивки.

Полученная заготовка подвергается штамповке. При необходимости между операциями штамповки осуществля-

ется термическая обработка (обычно отжиг) и контроль качества выполнения операций.

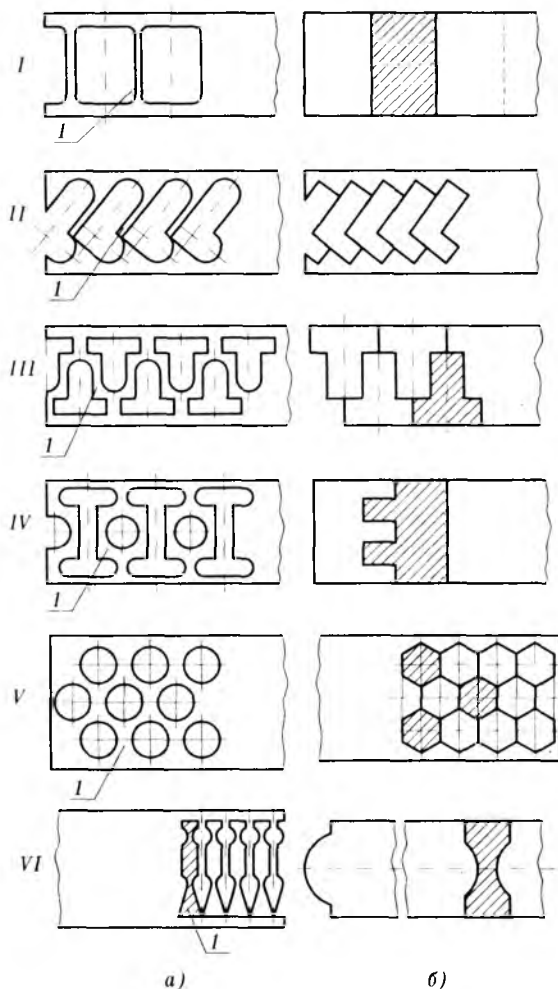


Рис. 2.43. Примеры раскроя материалов с перемычками (а) и без перемычек (б):
I — прямого; **II** — наклонного; **III** — встречного;
IV — комбинированного; **V** — многорядного;
VI — с вырезкой перемычки; **1** — перемычка

Для уменьшения трения между заготовкой и рабочей поверхностью вытяжного штампа, а также для облегчения съёма или выталкивания детали из штампа применяют смазку заготовки и инструмента. В штамповочном производстве в качестве смазок применяют мыльную воду, машинное и сурепное мыло, технический вазелин, тальк и т.д.

Для получения штамповок с заданными размерами и чистой поверхностью их подвергают отделке: калибровке, чеканке, галтовке, травлению, промывке, удалению смазки, полировке и т.д.

Получение изделий листовой штамповкой характеризуется прежде всего коэффициентом использования материала $k_{\text{и}}$ при раскрое (в долях единицы или в процентах), который определяют по формулам:

$$k_{\text{и}}' = \frac{nF}{BL} \leq 1 \text{ или } k_{\text{и}}' = \frac{nF}{BL} \cdot 100 \%,$$

где n — число деталей (заготовок), получаемых из исходной полосы или ленты;

F — площадь детали (заготовки);

B и L — ширина и длина исходной полосы или ленты.

Коэффициент использования материала при раскрое во многом зависит от формы детали (заготовки) и способа раскроя. При раскрое с отходами $k_{\text{и}}' = 75...80 \%$, при безотходном раскрое коэффициент $k_{\text{и}}'$ близок к 100% . Однако этот коэффициент не учитывает потери металла на обрезку припусков после вытяжки или формовки, в окалину при термической обработке и т.д. Поэтому общий коэффициент использования материала $k_{\text{и}}$ несколько меньше коэффициента использования материала $k_{\text{и}}'$ при раскрое.

Разработка технологического процесса листовой штамповки ведётся в следующем порядке:

- 1) устанавливается структура процесса, т.е. характер, количество и последовательность операций;
- 2) выполняются необходимые расчёты по установлению размеров заготовки, операционных размеров полуфабрикатов, усилий штамповки и т.п.;

3) процесс оформляется в соответствующей технологической документации.

По структуре технологический процесс состоит из основных и вспомогательных операций. К основным операциям относятся: резка листа на полосы, вырубка, вытяжка, гибка и другие штамповочные, а иногда и сборочные операции. К вспомогательным операциям относят: очистку, правку и смазку листов, отжиг и травление готовых изделий, очистку в галтовочных барабанах, нанесение защитных или декоративных покрытий (хромирование, никелирование и т.п.).

Расчёт размеров заготовки необходим для тех деталей, получение которых связано с операциями пространственного изменения формы, т.е. изогнутых, полых и объёмных. Расчёт размеров и формы заготовок гнутых деталей производят путём развёртывания (условной разгибки) детали в плоскую. При этом считают, что длина прямых участков детали остаётся после гибки неизменной, а длина изогнутых участков равна длине нейтрального слоя. Положение нейтрального слоя можно найти по приближённой формуле:

$$\rho = \sqrt{r(r+t)},$$

где ρ — радиус нейтрального слоя;

r — радиус гибочного пуансона ($r \geq 0,5t$);

t — толщина материала.

Размеры заготовки для деталей, изготавливаемых вытяжкой, определяют по равенству площадей поверхности заготовки F_z и готовой детали F_d (с припуском на обрезку). Поверхность готовых деталей, представляющих собой тела вращения сложной формы, определяют путём суммирования площадей f отдельных простых геометрических фигур, образующих её (круг, цилиндр, кольцо и т.п.). Диаметр заготовки находят по формуле:

$$D = 1,13\sqrt{F_d} = 1,13\sqrt{\sum f}.$$

Операционные размеры, т.е. промежуточные размеры, которые приобретает заготовка (или полуфабрикат) после выполнения соответствующей операции, для изогнутых и полых деталей рассчитывают в обратном порядке — от последних операций к первым. После их определения и выбора размеров заготовки проектируют раскрой материала. Под раскроем понимают оптимальное расположение вырубаемых деталей на полосах или лентах материала, поступающих в вырубной штамп. Раскрой полосы должен обеспечить наилучшее качество детали, экономное использование материала, простоту конструкции штампа, удобство и безопасность его работы. Для получения чистоты среза вырубленной заготовки, а также для уменьшения заусенцев и коробления рекомендуется вести вырубку с перемычками, ширину которых берут минимальной, равной одной-двум толщинам исходного металла.

На основе выбранных вида раскроя и штамповочных операций выбирают необходимое оборудование и применительно к нему разрабатывают конструкции штампов. При разработке технологии листовой штамповки особенно важно, учитывая массовый выпуск деталей, обеспечить наилучшие технико-экономические показатели: высокую производительность труда и качество изделий при минимальных технологических отходах металла, расходе энергии и трудовых затратах на изготовление штампов и процесс штамповки.

2.10. Способы производства машиностроительных профилей

2.10.1. Прессование

Прессование представляет собой процесс выдавливания металла заготовки в виде целого или пустотелого профиля, через отверстие инструмента, называемого матрицей. Заготовка перед выдавливанием помещается в замкнутую полость

контейнера. Выдавливаемый профиль может иметь в поперечном сечении практически любую сложную форму. Для прессования используют чаще всего цветные металлы и сплавы в холодном и горячем состояниях, но могут использоваться чёрные металлы в горячем состоянии. При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию, благодаря чему он имеет высокую пластичность. Именно это обстоятельство позволяет получать сложные профили заготовок прессованием малопластичных материалов и сплавов, обработка которых другими способами затруднительна.

Изготовление длинных изделий сложного профиля прессованием осуществляется на мощных гидравлических прессах. Нагретый слиток 3 (рис. 2.44, а) цилиндрической формы помещается в полость толстостенного стального цилиндра 4, называемого контейнером пресса; с другой стороны контейнера закрепляется матрица 2 из жаропрочной стали (3ХВ8 или 5ХВС), имеющая отверстие, соответствующее по форме сечению получаемого прессованием изделия.

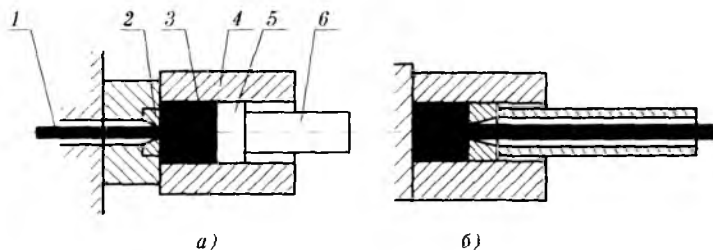


Рис. 2.44. Схемы прессования прутка:
а — прямой метод; б — обратный метод;
1 — пруток; 2 — матрица; 3 — нагретый слиток;
4 — контейнер; 5 — пресс-шайба; 6 — пуансон

Давление на металл передаётся пуансоном 6, на конце которого укреплен сменная пресс-шайба 5, плотно входящая в полость контейнера. Пуансон жёстко соединён с главным поршнем (плунжером) гидравлического цилиндра пресса, в который поступает вода под давлением до 20 МПа. Диаметр глав-

ного плунжера пресса достигает 2000 мм и более, поэтому удельное давление пресс-шайбы, имеющей сравнительно небольшой диаметр (60...500 мм), на металл очень велико и достигает 1000 МПа. Прессшайба, медленно передвигаясь вдоль контейнера, выдавливает металлический профиль 1 через отверстие матрицы. В конце операции в контейнере остаётся небольшая часть слитка, называемая пресс-остатком, содержащая металл низкого качества. Обратный ход пуансона с пресс-шайбой осуществляется двумя возвратными цилиндрами, расположенными симметрично по сторонам главного цилиндра.

Схема всестороннего неравномерного сжатия при прессовании позволяет обрабатывать малопластичные металлы и сплавы, обработка которых давлением другими способами приводит к появлению бракованных изделий из-за образования трещин.

Исходным материалом для прессования служат слитки из цветных металлов: меди, алюминия и их сплавов (бронзы, латуни), никелевых и магниевых сплавов, а также слитки из стали. Диаметр слитков из цветных сплавов составляет 50...800 мм при длине 420...1800 мм.

Прессованием получают сложные профили различного сечения длиной до 25...35 м (рис. 2.45) и прутки диаметром 5...200 мм, трубы гладкие и ребристые диаметром до 400 мм и выше при толщине стенок 1,5...8 мм. Прутки небольшого диаметра получают одновременным прессованием через несколько отверстий в одной матрице.

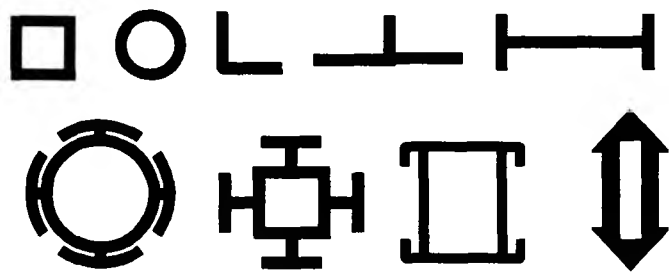


Рис. 2.45. Профили изделий, получаемых прессованием

Схема всестороннего неравномерного сжатия, как при прессовании, реализуется при горячей штамповке изделий из легированной стали в закрытых штампах: клапанов авто-тракторных двигателей, турбинных лопаток и др., а также при холодной штамповке выдавливанием пустотелых тонкостенных изделий из толстолистовой заготовки.

Механические свойства изделий зависят от степени обжатия исходного литого металла. Чем она больше, тем мельче будет кристаллическая структура готового продукта и тем выше получаются его механические свойства.

При прессовании различают две скорости, характеризующие процесс: скорость прессования V_n , с которой двигается пресс-шайба в контейнере, и скорость истечения $V_{из}$, представляющая собой скорость истечения металла через калибр матрицы. Эти скорости связаны соотношением: $V_{из} = l \cdot V_n$, где l — коэффициент вытяжки, равный отношению площадей поперечных сечений полости контейнера и калибра матрицы. При прессовании коэффициент вытяжки l составляет 8...50. При очень больших скоростях истечения в изделии образуются трещины, «ерши» и другие дефекты. Скорость истечения для дюралюминия равна 0,03...0,06 м/с, магниевых сплавов 0,04...0,05 м/с, алюминия 0,1...2,5 м/с, меди и её сплавов 0,1...0,5 м/с.

Различают два вида прессования: прямой метод и обратный методы прессования.

Прямое прессование применяется для прутков и сложных профилей. Прессование по обратному методу применяется главным образом для получения прутков. В этом случае пуансон делается полым, и на его конце укрепляется матрица. Если при прямом прессовании вся масса слитка перемещается в контейнере в направлении течения металла, то при обратном прессовании слиток неподвижен относительно стенок контейнера, а течение металла осуществляется навстречу пуансону в его полость, вследствие чего значительно уменьшается действие сил трения при прессовании. В результате усилие прессования обратным мето-

дом снижается на 25...30 %. К преимуществам обратного метода относится также и снижение потерь металла в пресс-остатке, который с 15...18 % от веса слитка при прямом прессовании снижается до 5...6 %. Однако конструкция прес-са для обратного прессования сложнее, и поэтому оно реже применяется на практике, чем прямое.

Прессование труб производится обычно прямым методом, хотя возможно прессование коротких труб большого диаметра (300...400 мм) методом встречного течения металла.

При прессовании труб и полых изделий прямым методом в калибре матрицы размещают иглу (язык), которую со всех сторон обтекает пластичный металл, формируя полость требуемого сечения. Применяют также предварительную прошивку заготовки иглой с требуемым сечением. Закрепленная на штоке плунжера прошивного цилиндра, расположенного позади главного цилиндра, игла после прошивки металла располагается в калибре матрицы и обеспечивает всестороннее обтекание металла вокруг себя. Таким образом, в изделии формируется полость требуемого сечения.

Прессы, используемые для изготовления прутков, профилей и труб, по конструкции разделяются на вертикальные (с усилием в 3 и 6 МН) и горизонтальные (с усилием от 6 до 140 МН). На вертикальных прессах получают прутки и тонкостенные трубы диаметром до 40 мм и длиной до 3 м. Готовое изделие при прессовании на таких прессах выходит вниз, в нижерасположенное помещение. На горизонтальных прессах получают трубы и прутки больших размеров.

На прессе 140 МН кроме профилей с постоянным сечением по длине изготавливают детали ступенчатой формы, а также ребристые панели для самолётов. Последние выдавливаются вначале в виде U-образного профиля или профильной формы, которые развёртываются затем в плоскую панель на специальной машине. На указанном прессе изготавливаются также трубы диаметром 500 мм, длиной 15 м при толщине стенки в 6 мм.

Прессованием получают и стальные профили с допуском $\pm 0,4$ мм; для получения ещё большей точности размеров сечения они подвергаются калибровке волочением.

По производительности процесс прессования стали успешно конкурирует с прокаткой, так как месячный выпуск на прессе 30 МН достигает 8000 т, при этом точность изделий, получаемых прессованием, выше, чем при прокатке. Главным же преимуществом процесса прессования является возможность получения весьма сложных профилей, изготовление которых прокаткой технологически неосуществимо.

2.10.2. Волочение

При волочении, представляющем собой процесс протягивания заготовки через отверстие в матрице (рис. 2.46, а), имеет место схема объёмно-напряжённого состояния с одним главным растягивающим напряжением σ_1 , вызываемым усилием волочильного стана, и двумя другими, равными по величине главным сжимающим напряжениям σ_2 и σ_3 , создаваемым противодавлением стенок матрицы.

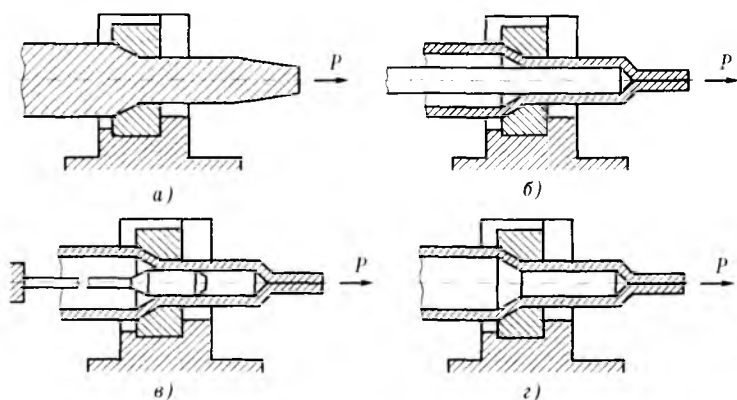


Рис. 2.46. Схемы процесса волочения заготовок:

а — прутка; б — трубы на длинной оправке;
в — трубы на короткой оправке; г — трубы без оправки

Наличие значительного по величине главного растягивающего напряжения σ_1 понижает пластичность металла, ограниченную к тому же условиями холодной обработки. Поэтому при волочении недопустимы большие степени деформации, и однократное обжатие приводит к уменьшению площади сечения заготовки не более, чем на 25...35 %. Так как основной целью волочения является получение тонкой проволоки из катанки диаметром 5...6 мм, то вследствие ограниченности величины однократного обжатия приходится проволочить заготовку последовательно через ряд постепенно сужающихся отверстий матриц или волок, чтобы получить требуемый окончательный диаметр проволоки.

Упрочнение (наклёп) металла в процессе волочения вызывает нарастающую потерю пластичности металла, которая может привести к обрыву проволоки. Во избежание обрыва проволоки напряжение натяжения в концевом участке, вытягиваемом из матрицы, не должно превышать предела текучести металла. Кроме того, для предупреждения обрывов вследствие наклёпа при многократном волочении применяют промежуточный отжиг полуфабриката. Суммарные обжатия заготовки между отжигами составляют в среднем 75...85 %.

Волочением обрабатывают стали различных марок, а также цветные металлы и их сплавы.

Волочение применяется для получения тонкой проволоки диаметром 0,002...10 мм и более; тонкостенных труб, предварительно изготовленных прокаткой или прессованием; при калибровке горячекатаного сортового проката диаметром до 100 мм; для изготовления фасонных профилей, из которых путём разрезки получают затем готовые детали — призматические и сегментные шпонки, призматические направляющие для приборов, опорные призмы, шлицевые валики, зубчатые и храповые колёса для часового производства и т.п.

Изготовление волочением фасонных профилей резко сокращает расход металла и трудоёмкость изготовления ука-

занных деталей по сравнению с обработкой их на металло-режущих станках из сортового проката.

Процесс волочения состоит из следующих операций:

- 1) предварительный отжиг заготовок для получения мелкозернистой структуры металла и повышения его пластичности;
- 2) травление заготовок в подогретом растворе серной кислоты для удаления окалины, вызывающей повышенный износ матрицы;
- 3) промывка заготовок и нейтрализация травильного раствора;
- 4) заострение концов заготовок в ковочных вальцах или под пневматическим молотом для пропуска его через отверстие матрицы и последующего захвата клещами стана;
- 5) волочение;
- 6) отжиг для устранения наклёпа;
- 7) отделка готовой продукции (обрезки концов, правки, резки на куски мерной длины и пр.).

Для уменьшения трения в калибре матрицы волочение производится со смазкой заготовки минеральными маслами, эмульсией, графитом или животными жирами. Смазка способствует получению чистой поверхности изделия и уменьшает расход энергии на волочение. Для снижения усилия волочения применяют также роликовые матрицы.

В ряде случаев, например перед волочением проволоки и тонкостенных труб из стали, производят их омеднение погружением заготовок в слабый кислотный раствор медного купороса; омеднение снижает коэффициент трения и предохраняет поверхность изделия от задиранья в калибре матрицы.

Волочение труб производится следующими основными способами: на длинной оправке (рис. 2.46, б), когда труба протягивается вместе с оправкой через неподвижную матрицу; на неподвижной короткой оправке (рис. 2.46, в); на свободной (плавающей) оправке — разновидность волоче-

ния на короткой оправке; без оправки (рис. 2.46, *г*). Коэффициент вытяжки за один проход обычно не превышает 1,5...1,8.

Волоочильные станы по способу приложения тянущего усилия делятся на цепные и барабанные. В цепных станах (рис. 2.47, *а*), применяемых для волочения прутков, профилей и труб длиной 8...10 м, усилие волочения создаётся бесконечной шарнирной цепью 9, за звенья которой зацепляется крюк 8 волочильной каретки 7. Каретка имеет самозахватывающие клещи 6, с помощью которых материал 3 протягивается через матрицу 5, прикреплённую к кронштейну 4 станины 1. Двигаясь вместе с цепью, каретка увлекает за собой захваченный клещами пруток 3. Возврат каретки, после протягивания штанги на всю длину производится вручную или специальным устройством. Шарнирная цепь получает движение от электродвигателя с редуктором от ведущей звёздочки. Скорость волочения на цепных станах может достигать до 50 м/с. Число одновременно протягиваемых прутков на цепных станах достигает 10.

В барабанных станах усилие волочения создаётся вращающимся барабаном, на котором с помощью клещевого захвата закрепляется конец протягиваемой проволоки. Бунт проволоки укладывают на фигурку 2. Проволока протягивается через ряд волок (3, 5, 7, 9) с постепенно уменьшающимися отверстиями. На тяговые барабаны (4, 6, 8) наматываются два-три витка проволоки для создания тягового усилия. Последний барабан — приёмный 10. Барабаны вращаются от электродвигателя 11 через редуктор и конические зубчатые передачи 12.

Для многократного волочения применяют волочильные станы, имеющие до 20 тяговых барабанов. Скорость волочения на этих станах достигает 50...120 м/с. В этих станах для согласованной работы всех его элементов после прохождения заготовки каждой проволоки применяют различные технологические приёмы.

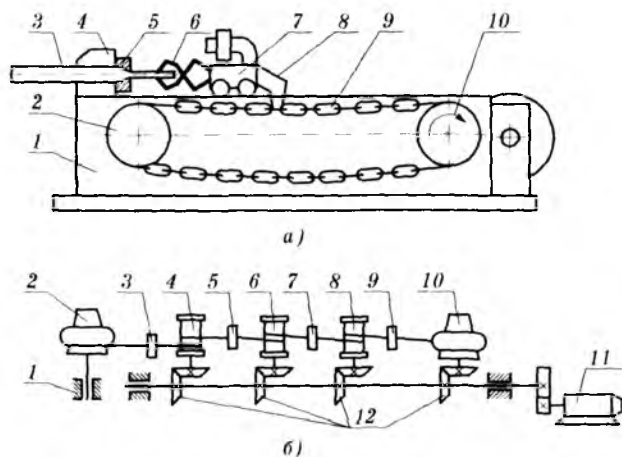


Рис. 2.47. Схемы волочильных станов:

- a* — цепного: 1 — станина; 2, 10 — звёздочки; 3 — пруток; 4 — кронштейн; 5 — матрица; 6 — клещи; 7 — каретка; 8 — крюк; 9 — цепь; б — барабанного: 1 — станина; 2 — фигурка; 3, 5, 7, 9 — волок; 4, 6, 8 — тяговые барабаны; 10 — приёмный барабан; 11 — электродвигатель; 12 — конические зубчатые передачи**

Применение петлевых роликовых механизмов позволяет создавать запас проволоки на тяговых барабанах и возможность автономной работы тягового барабана при кратковременной остановке предыдущего или последующего барабанов.

Так как скорость проволоки после выхода её из волок больше, чем до входа в неё применяют автоматическое регулирование скоростей вращения барабанов, а также создание режима скольжения проволоки относительно поверхности барабана. В последнем случае на барабане должно быть не более двух-трёх витков проволоки. Винтовая намотка проволоки на барабан ведёт к смещению намотки вдоль его оси. Для устранения смещения намотки барабану придают фасонную форму, например форму параболоида и др.

2.11. Новые направления обработки металлов давлением

Использование сверхпластичности. Обработку давлением некоторых сталей и сплавов осуществляют в условиях сверхпластичности. Сверхпластичность представляет собой значительное увеличение пластичности и уменьшение сопротивления деформации при температуре фазовых превращений и вполне определённых скоростях деформации. В этих условиях проявляется в основном межкристаллитная деформация и отсутствует какое-либо значительное упрочнение металла.

Изотермическую штамповку используют для обработки сталей и сплавов с узким температурным интервалом обработки и не допускающих больших скоростей деформации. Штамп для такой штамповки изготовлен из жаропрочного сплава и установлен в индукционном нагревателе, обеспечивающем одинаковую и постоянную температуру заготовок и штамповых вставок. Изотермическая штамповка осуществляется на гидропрессах и улучшает структуру и свойства поковок.

Применение вибраций. Вибрации при волочении, горячей объёмной и холодной листовой штамповке благодаря уменьшению контактного трения снижают усилия деформирования и приводят к повышению пластичности металла в процессе его обработки. Одновременно улучшаются структура и качество металла изделий.

Гидростатическое выдавливание. Для изготовления изделий из низкопластичных и труднодеформируемых металлов и сплавов применяют гидростатическое выдавливание, при котором жидкость под высоким давлением воздействует на заготовку, установленную в контейнере, с торца и боков. Для горячего выдавливания подбирают жидкую среду, которая является одновременно и нагревателем для заготовки. При достижении требуемого давления металл заготовки выдавливается через матрицу с огромной скоростью, достигающей сотен метров в секунду.

Значительно повышается пластичность металла и при штамповке поковок выдавливанием на механических и гидравлических прессах с противодавлением со стороны торца выдавливаемого изделия, т.е. со стороны, противоположной давлению пуансона. Противодавление в штампе создаётся механической или гидравлической системой. Во время процесса выдавливания оно поддерживается постоянным.

Магнитно-импульсная формовка. При формообразовании изделий магнитно-импульсной формовкой отпадает необходимость в промежуточных средах для передачи давления от источника энергии к заготовке. Сущность этого метода заключается в создании импульсного магнитного поля вокруг заготовки и взаимодействии этого поля с импульсными токами, протекающими в заготовке. Принципиальная схема установки для магнитно-импульсной формовки дана на рисунке 2.48. Конденсаторная батарея 2 заряжается от выпрямителя 1 до требуемого запаса энергии и разряжается через индуктор 4. Внутри индуктора помещена заготовка 3. Мощный импульс тока, образующийся с помощью разрядника 5 и проходящий через обмотку индуктора, создаёт вокруг его проводников электромагнитное поле. Это поле возбуждает в заготовке вихревые токи, что приводит к образованию вокруг неё также электромагнитного поля. В результате взаимодействия магнитных полей происходит динамическое воздействие на заготовку и её деформирование. Магнитно-импульсной формовкой осуществляются обжатие и раздача трубчатых заготовок, рельефная формовка, вырубка и др. Характер операции определяет конструкцию и форму индуктора и матрицы. Магнитно-импульсная штамповка является хорошо управляемым процессом, при котором наряду с формовкой можно обеспечить и разогрев заготовки, облегчающий деформацию металла. Однако использование больших мощностей здесь ограничено возможностью разрушения инструмента-индуктора.

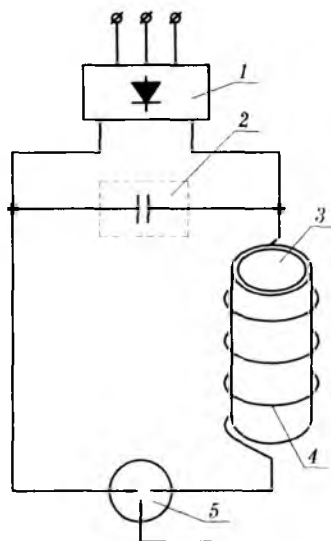


Рис. 2.48. Схема установки для магнитной импульсной формовки:
1 — выпрямитель; 2 — конденсаторная батарея;
3 — заготовка; 4 — индуктор; 5 — разрядник

Редуцирование методом поперечно-винтовой прокатки. Известно, что поперечно-винтовая прокатка используется для прошивки отверстий в целой заготовке. В станах применяют бочковидные, грибовидные и дисковые валки. Валки стана, расположенные под небольшим углом друг к другу ($5...24^\circ$), вращаются в одном направлении и обеспечивают разрыхление сердцевины заготовки, которую прошивают дорном вдоль оси. При расположении валков под большими углами друг к другу ($45...50^\circ$) в зоне деформирования заготовки создаются наоборот условия всестороннего сжатия. При пропускании через такие валки пустотелой заготовки можно достичь уменьшения наружного диаметра и диаметра внутреннего отверстия. Качество металла редуцированной заготовки за счёт уплотнения получается высоким. Шероховатость поверхности отличается небольшими значениями высотных показателей микронеровностей и

поэтому после редуцирования достаточно проведения окончательной (чистовой) обработки.

Взрывная штамповка. Данный способ создаёт на поверхности листовой заготовки очень большое удельное давление при высокой скорости деформирования. В качестве энергоносителей при взрывной штамповке применяют взрывчатые вещества: порох, взрывчатые газовые смеси из метана, пропана, ацетилена и кислорода и других газов. Образующаяся при взрыве детонационная волна со скоростью 3500 м/с воздействует на заготовку и деформирует её по форме матрицы. Взрывная волна в жидкостной среде более эффективна, чем в газовой, и обеспечивает лучшее качество поверхности.

Установки для формообразования деталей взрывом взрывчатых веществ представляют собой бетонные камеры (обычно конусной формы), заполненные водой и оборудованные грузоподъёмными устройствами для перемещения штампов и насосными устройствами. Труднодеформируемые металлы и сплавы: титановые сплавы, нержавеющие и жаропрочные стали и др., становятся более пластичными, так как процесс упрочнения металла отстаёт от процесса деформирования. Это позволяет увеличить деформацию на 75 % по сравнению с формоизменением при обычных методах штамповки.

Установка для формообразования деталей взрывом горючих газов (рис. 2.49) представляет собой корпус 1, в который устанавливается матрица 9. На матрицу сначала укладывают листовую заготовку 3, а затем резиновую диафрагму 8 и уплотнительное кольцо для установки на него взрывной камеры 7. Камера состоит из толстостенного корпуса конической формы, на который сверху устанавливается детонационная трубка 6 и воспламенительное устройство 5. Камера закрепляется на корпусе болтами. После завершения подготовки установки к процессу штамповки в камеру после её продувки воздухом подаются горючий газ и кислород через предохранительные водяные клапаны 2. Давление смеси, определяющее мощность взрыва, контролируется манометром 4. Взрыв инициируют с помощью воспламени-

тельного устройства 5. В момент формовки воздух под диафрагмой вытесняется в атмосферу через отверстия в матрице.

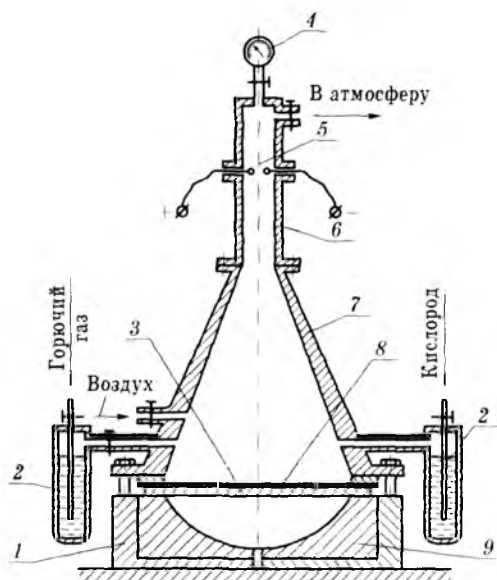


Рис. 2.49. Схема листовой штамповки взрывом горючей смеси газов:
 1 — корпус; 2 — водяные предохранительные клапаны;
 3 — заготовка; 4 — манометр; 5 — воспламенительное устройство; 6 — детонационная трубка; 7 — взрывная камера;
 8 — резиновая диафрагма; 9 — матрица

Электрогидравлическая штамповка. Данный способ листовой штамповки проводят в воде. Источником ударной волны служит кратковременный электрический разряд в жидкости. Штамповку проводят иногда несколькими импульсами.

2.12. Обеспечение качества поковок

В области обработки металлов давлением действует большое количество национальных стандартов, одним из которых является стандарт «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски (ГОСТ 7505-89)». Данный стандарт распространяется на стальные штампо-

ванные поковки массой не более 250 кг и (или) с линейным габаритным размером не более 2500 мм, изготовленные горячей объёмной штамповкой.

Правильное назначение припусков на механическую обработку поковок обеспечивает требуемую точность размеров после механической обработки и оптимальную себестоимость деталей, являющейся важной составляющей конкурентоспособности продукции.

Припуски на обработку (на сторону) назначают дифференцированно на каждую обрабатываемую поверхность поковки. Припуск на механическую обработку у поковок состоит из основного припуска и дополнительного. Основные припуски на механическую обработку определяют в зависимости от исходного индекса поковки. Исходный индекс поковки находят в зависимости от массы поковки, группы стали, степени сложности поковки и класса точности поковки.

В качестве исходного материала для расчётов используется эскиз детали с указанными на нём размерами и допусками размеров. Размеры детали позволяют рассчитать её объём как сумму объёмов элементарных геометрических тел, образующих деталь. Канавки, фаски, проточки, отверстия для крепёжных деталей не учитываются. Объём зубчатого колеса рассчитывается с учётом неравенства объёма впадины между зубьями выше делительной окружности и ниже её. Следует использовать не делительную окружность, а диаметр окружности выступов минус $2/3m$ ($D_{\text{ов}} - 2/3m$). При расчёте массы стальной детали рекомендуется принимать плотность стали, равной $7,85 \cdot 10^{-3}$ г/мм³.

Расчёты проводятся в соответствии с основными положениями ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные».

1. Определяют расчётную массу заготовки по формуле:

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{д}} \cdot K_{\text{р}},$$

где $K_{\text{р}}$ — расчётный коэффициент (его величина колеблется в пределах 1,1...2,2 в зависимости от группы деталей, учитывающей их форму) (табл. 20, ГОСТ 7505-89)

$$M_{\text{д}} = V_{\text{д}} \cdot r = V_{\text{д}} \cdot 7,65 \cdot 10^{-3}, \text{ г (масса детали).}$$

2. Определяют группу стали М в зависимости от марки стали. Различают три группы сталей — М1, М2, М3 в зависимости от содержания углерода и суммы процентов легирующих элементов в ней.

Группа М1 — углерода до 0,35 % включительно и суммарная массовая доля легирующих элементов до 2 % включительно.

Группа М2 — углерода свыше 0,35 до 0,65 % включительно или суммарная доля легирующих элементов свыше 2 до 5 % включительно.

Группа М3 — углерода свыше 0,65 % или суммарная доля легирующих элементов свыше 5 %.

3. Определяют степень сложности поковки (штамповки) С на основе отношения массы (объёма) G_n поковки к массе (объёму) G_ϕ геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки. Геометрическая фигура может быть цилиндром с перпендикулярными к его оси торцами, параллелепипедом, шаром или правильной призмой. Геометрическая фигура должна быть по объёму наименьшей. Геометрическая фигура формируется из габаритных размеров детали, величина которых должна быть увеличена в 1,05. В зависимости от величины соотношения G_n/G_ϕ различают четыре степени сложности С:

С1 — свыше 0,63;

С2 — свыше 0,32 до 0,63 включительно;

С3 — свыше 0,16 до 0,32 включительно;

С4 — до (менее) 0,16.

Так как реальная масса поковки G_n может быть получена и измерена только после её изготовления, то в расчётах следует принять $G_n = M_{np}$.

4. Устанавливают класс точности Т поковки в зависимости от применяемого оборудования (табл. 19, ГОСТ 7505-89). Различают пять классов точности штамповок: Т1 (наиболее точный), Т2, Т3, Т4, Т5 (наименее точный). Например, кривошипные горячештамповочные прессы методом открытой штамповки обуславливают точность Т4 или Т5

(более изношенные штампы), а методом закрытой штамповки — Т2 или Т3. Горячештамповочные автоматы обеспечивают класс точности поковок Т2 или Т3. Штамповочные молоты обеспечивают класс точности поковок Т4 или Т5, горизонтально-ковочные машины (в массовом производстве) — Т4 или Т5, прецизионная штамповка обеспечивает класс точности Т1.

5. На основе массы (расчётной) поковки, группы стали, степени сложности и класса точности поковки по таблице 2, ГОСТ 7505-89 находят так называемый исходный индекс поковки, значение которого меняется в пределах от 1 до 23. По исходному индексу поковки, номинальному размеру поверхности и по параметру шероховатости Ra по таблице 3, ГОСТ 7505-89 находят основную часть припуска на механическую обработку (на одну сторону заготовки). Дополнительная часть припуска, компенсирующая смещение поковки (открытая штамповка), изогнутость и отклонение от плоскостности и прямолинейности, отклонение от межосевого расстояния, определяется в зависимости от формы заготовки, массы и класса точности по таблицам 4, 5, 6 ГОСТ 7505-89. Допуск припуска и его отклонения (верхнее и нижнее) находятся по таблице 8 в зависимости от исходного индекса и геометрического размера поверхности поковки (наибольшая толщина, длина, ширина, диаметр или высота).

Полученная величина припуска округляется с точностью до 0,5 мм.

Примеры (рис. 2.50)

Для определения исходного индекса по таблице в ГОСТ 7505-89, часть которой приведена на рисунке 2.50 в графе «Масса поковки», находят соответствующую данной массе строку и, смещаясь по горизонтали вправо или по утолщённым наклонным линиям вправо вниз до пересечения с вертикальными линиями, соответствующими заданным значениям группы стали М, степени сложности С, класса точности Т, устанавливают исходный индекс.

Масса поковки	Группа стали			Степень сложности поковки				Класс точности поковки					Индекс поковки
	M1	M2	M3	C1	C2	C3	C4	T1	T2	T3	T4	T5	
До 0,5 включ.													1
Св 0,5 до 1,0													2
1,0 – 1,8													3
1,8 – 3,2													4
3,2 – 5,6													5
5,6 – 10,0													6
10,0 – 20,0													7
20,0 – 50,0													8
50,0 – 125,0													9
125,0 – 250,0													10
													11
													12
													13
													14
													15
													16
													17
													18
													19
													20
													21
													22
													23

Рис. 2.50. Определение исходного индекса поковки

1. Поковка массой 0,5 кг, группа стали М1, степень сложности С1, класс точности Т2.

Исходный индекс — 3.

2. Поковка массой 7,5 кг, группа стали МЗ, степень сложности С2, класс точности Т2.

Исходный индекс — 11.

2.13. Контрольные вопросы

1. Какие существуют виды обработки металлов давлением?
2. Как влияет химический состав стали на её свойства при обработке давлением?
3. Каков механизм упругой деформации?
4. Каков механизм пластической деформации?
5. Что называют интервалом термической обработки металлов и сплавов?
6. Какое значение имеет диаграмма состояния железо–цементит для обработки стальных заготовок давлением?
7. Какие нагревательные устройства используются при обработке сплавов давлением, и каково их устройство?
8. Какие способы прокатки существуют и каковы их особенности при производстве проката?
9. Что представляет собой сортамент проката?
10. Что представляют собой ручьи и калибры прокатных валков?
11. Какое условие захвата заготовки прокатными валками существует в производстве?
12. Какие штампы используются в практике горячей объёмной штамповки и каково их устройство?
13. Чем отличаются ковочные прессы от штамповочных?
14. В чём заключаются особенности свободнойковки и какие операции свободнойковки используются при обработке заготовок?
15. Рассказать об особенностях производства заготовок на горизонтально-ковочных машинах.
16. Для каких видов работ применяют холодновысадочные автоматы?

17. Какие операции используются в холодной листовой штамповке?
18. Какие технологические особенности имеются в листовой штамповке?
19. Какое оборудование используется в листовой штамповке?
20. Какие преимущества имеет прессование металлов перед другими методами обработки заготовок давлением?
21. В чём заключается сущность волочения прутков и труб?
22. Какие новые направления имеются в области обработки металлов давлением?
23. Чем обеспечивается качество поковок и в чём заключается сущность ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные»?

ГЛАВА 3. ОСНОВЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

3.1. Физические основы сварки

3.1.1. Общие сведения

Сварка в настоящее время является практически основным способом получения неразъёмных соединений в производстве. Обеспечению высокого качества сварочных соединений способствует наличие действенных средств контроля для определения качества сварных швов и создание механизмов, позволяющих автоматизировать процесс сварки.

Применение методов сварки для создания сложных изделий значительно ускоряет процесс их изготовления, существенно уменьшает расход металла, повышает качество деталей и снижает их себестоимость.

Ответственные агрегаты, подвергающиеся знакопеременным и ударным (динамическим) нагрузкам, такие как корпуса судов, паровые котлы, автоклавы, мостовые конструкции и др., изготавливаются с помощью сварки вместо ранее применявшейся для соединения листов клёпки.

3.1.2. Физическая сущность сварочных процессов

Сваркой называется технологический процесс получения неразъёмного соединения различных материалов за счёт образования в зоне их сближения неразрывной среды, в которой возникает действие металлической, ковалентной или химической связи.

Сварку производят с нагревом металлов и без нагрева, с местным расплавлением (сварка плавлением) и без расплавления (сварка давлением).

При сварке с доведением кромок свариваемых металлов до расплавления, обычно сопровождаемого введением

металла расплавляемого электрода или присадочного прутка, происходит перемешивание жидкого металла в сварочной ванне. Кристаллизация металла ванны совместно с оплавленными кромками изделия позволяет получать прочное соединение.

Для получения сварных соединений давлением необходимо приведение деталей в плотный контакт друг с другом вплоть до возникновения в зоне контакта пластической деформации металла. Здесь большое значение имеет местный нагрев свариваемых деталей и воздействие на них соответствующей внешней силы. При нагреве твёрдость металла понижается, металл переходит в тестообразное состояние, способствующее возникновению пластических деформаций. В результате деформирования кромок соединяемых деталей увеличивается площадь их соприкосновения, разрушаются плёнки окислов на поверхности деталей и протекают взаимные диффузионные процессы перемещения атомов, благодаря чему достигается хорошее качество сварки.

Для установления в металле сварного шва металлической связи, атомы в нём необходимо сблизить на такое же расстояние, на каком они находятся внутри соединяемых металлов, чтобы обеспечить их межатомное сцепление. Поверхности металлов имеют загрязнения или окисленные плёнки, препятствующие сцеплению атомов. Поэтому необходимо поверхности свариваемых деталей предварительно очищать от загрязнений и во многих случаях применять в процессе сварки различные средства защиты или дополнительной очистки, инертные газы, специальные покрытия — флюсы для защиты металлов от окисления и понижения температуры плавления окислов для перевода их в жидкий шлак.

В зависимости от способа сварки в металле происходят процессы пластической деформации или расплавления, сопровождающиеся образованием растворов, химических соединений, протеканием процессов кристаллизации из жидкого состояния и др.

Процесс диффузии при сварке с подогревом металла способствует расширению зоны сварки за счёт диффузионного перемещения атомов. При этом создаётся прочное соединение. Однако при разнородных соединениях могут появляться хрупкие прослойки, которые ведут к снижению прочности соединения. Особенно большое влияние на прочность сварного соединения при сварке плавлением имеет кристаллизация. Обычно сварной шов при сварке плавлением имеет литую структуру, иногда изменённую последующими нагревами. В связи с высоким нагревом металла при сварке плавлением можно получить крупнозернистую литую структуру, вызывающую в ряде случаев ухудшение физико-механических свойств металла сварного шва. При сварке плавлением легкоплавких металлов для улучшения структуры металла рекомендуется вводить в сварочную ванну модификатор, способствующий образованию дополнительных центров кристаллизации, приводящих к увеличению прочности сварного шва. При сварке тугоплавких металлов модификаторы, как правило, менее действенны.

Металл соединяемых деталей, находящийся в околошовной зоне, претерпевает структурные изменения из-за воздействия на него высокой температуры в процессе сварки. При сварке часто имеет место окисление, азотирование металла, выгорание легирующих примесей в расплавленном металле. Специально вводимые в оболочку (покрытие) электрода соответствующие добавки обеспечивают легирование и раскисление металла шва, благодаря чему повышаются физико-механические свойства металла. Таким образом, формирование сварного шва и околошовной структуры металла представляет собой в миниатюре металлургический процесс, особенностями которого являются воздействие высокой температуры на структуру металла шва и кратковременность всех его стадий.

Строение сварного шва после его затвердевания и структура околошовной зоны показаны на рисунке 3.1. Наплавленный металл 1 образуется в результате расплавления

электрода (или присадочного материала) и частично основного металла с образованием жидкой ванночки и последующего охлаждения. На границе жидкой зоны происходит соединение расплавленного металла с основным 2. В узкой зоне сплавления *I* (зона неполного расплавления) образуются кристаллы, в равной мере принадлежащие основному и наплавленному металлу.

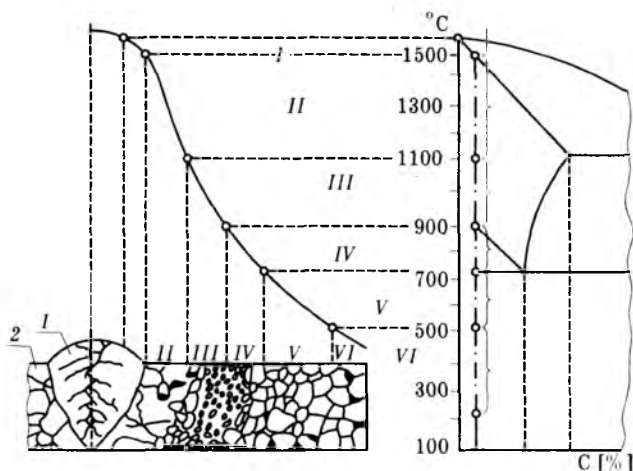


Рис. 3.1. Схема взаимосвязи температуры на диаграмме состояния железо—цементит со структурой сварочного шва и околошовной зоны:
1 — сварной шов; 2 — зона термического влияния:
I — участок неполного расплавления; *II* — участок перегрева;
III — участок нормализации; *IV* — участок неполной перекристаллизации; *V* — участок рекристаллизации;
VI — основная структура

Свойства металла в зоне шва определяются условиями протекания процессов плавления, металлургической обработки основного и присадочного металлов и кристаллизации полученного металла шва при охлаждении. Свойства сварного шва и околошовной зоны в целом определяются характером теплового воздействия на них при проведении сварки. Во время плавления основной и присадочный металлы силь-

но перегреваются иногда до температур, близких к температуре кипения. Это приводит к испарению металла и изменению химического состава сплава. Наличие газовой атмосферы вокруг плавящегося металла приводит в ряде случаев к окислению, взаимодействию металла с азотом воздуха и растворению газов в металле. Всё это вызывает изменение химического состава наплавленного металла, образованию окислов и других неметаллических включений, пор и трещин. Чем чище наплавленный металл, тем выше значения показателей механических свойств сварного соединения.

С целью повышения качества наплавленного металла вокруг жидкого металла создают специальную газовую атмосферу, защищающую его от воздействия воздуха, раскисляют и прикрывают жидкую ванночку специальными шлаками, вводя в обмазку электродов флюсы и легирующие добавки.

Наплавленный металл имеет столбчатое (дендритное) строение, характерное для литой стали. Если наплавленный металл или соседний с ним участок *I* был сильно перегрет, то при охлаждении на участке *II* зерна основного металла (малоуглеродистой стали) имеют игольчатую форму, образуя грубоигольчатую структуру. Этот участок обладает наибольшей хрупкостью и является наиболее слабым местом сварного соединения.

На участке *III* температура металла не превышает 1100 °С. Здесь наблюдается процесс формирования структуры, сходный с процессом термической обработки сталей — нормализацией, в результате которой сталь имеет мелкозернистое строение. Металл на этом участке имеет повышенные механические свойства по сравнению с основным металлом.

На участке *IV* происходит неполная перекристаллизация стали, так как она нагрелась до температуры, лежащей между критическими точками A_{c1} и A_{c3} . На этом участке наряду с крупными зёрнами феррита образуются мелкие зерна феррита и перлита.

На участке V структурных изменений в стали не происходит (если сталь перед сваркой не подвергалась пластической деформации). В противном случае на этом участке наблюдается рекристаллизация.

На участке VI структура стали не отличается от основной структуры.

Структурные изменения основного металла в зоне термического влияния мало отражаются на механических свойствах малоуглеродистой стали при сварке её любыми способами. Однако при сварке некоторых конструкционных сталей в околошовной зоне может происходить образование закалочных структур, которые резко снижают пластические свойства металла и часто являются причиной образования трещин.

Размеры зоны термического влияния зависят от способа и технологии сварки и рода свариваемого металла. Так, при ручной дуговой сварке стали тонкообмазанными электродами и при автоматической сварке стали под слоем флюса размеры зоны термического влияния являются минимальными (2...2,5 мм); при сварке электродами с толстой обмазкой протяжённость этой зоны может составлять 4...10 мм, а при газовой сварке — 20...25 мм.

3.1.3. Свойства электрической дуги

Электродуговая сварка — наиболее распространённый способ соединения металлических деталей, при котором источником тепла является электрическая дуга. Электрическая дуга представляет собой непрерывный поток электронов и ионов, образующихся между двумя электродами в той или иной среде.

Для создания и поддержания дуги необходимо ионизировать воздух или газ в дуговом промежутке. Непрерывная ионизация воздуха или газа обеспечивается электронами, вылетающими с поверхности отрицательно заряженного электрода. Эти электроны сталкиваются с атомами или мо-

лекулами газообразных веществ, находящихся в пространстве между электродами, возбуждают или ионизируют их.

В дуговом разряде выбрасывание (эмиссия) электронов с катода происходит под влиянием двух факторов: высокой температуры (электронная эмиссия) и напряжённости электрического поля (автоэлектронная эмиссия).

Отрицательно заряженные частицы бомбардируют анод, а положительно заряженные — катод; при этом кинетическая энергия частиц превращается в тепловую и световую, электроны превращаются в электроны проводимости, а ионы нейтрализуются.

Выделение тепловой и световой энергии в сварочной дуге происходит неравномерно. Количество тепла, выделяющегося на аноде, составляет около 43 % за счёт бомбардировки его электронами, имеющими большую кинетическую энергию, чем ионы, бомбардирующие катод; на катоде выделяется около 36 % общего количества тепла сварочной дуги. Остальное количество тепла (21 %) выделяется в столбе дуги.

Температура электрической дуги зависит от материала электродов: при угольных электродах на катоде она составляет около 3200 °С; на аноде — около 3900 °С; при металлических электродах соответственно 2400 и 2600 °С. В центре дуги по её оси, температура достигает 6000...7000 °С.

При электродуговой сварке на нагревание и расплавление металла используется 60...70 % тепла. Остальное количество тепла (30...40 %) рассеивается в окружающем пространстве.

На рисунке 3.2 изображена схема горения устойчивой сварочной дуги 8, возникшей при пропускании тока между металлическим (проволочным) электродом 7 и основным металлом 1. Под влиянием автотермоэлектронной эмиссии конец электрода и находящийся под ним участок изделия расплавляются, на изделии возникает металлическая (сварочная) ванна 9, в которую по каплям стекает расплавленный металл с электрода. Пространство между оплавливающимся торцом электрода 7 и поверхностью сварочной ванны заполняется раскалённой средой, представляющей со-

бой смесь частично ионизированного воздуха, паров металла и обмазки, которые образуются при высоких температурах в процессе взаимодействия материала электрода и его обмазки *б* с воздухом. Электрод, перемещаясь в направлении стрелки $v_{св}$, оставляет слой наплавленного металла *з*.

По форме дуговой разряд (пламя дуги) представляет расширяющийся к поверхности изделия столб, у основания которого в толще изделия образуется кратер дуги или металлическая (сварочная) ванна. Плавящаяся обмазка *б* образует жидкий шлак *д*, который как вещество, более лёгкое, чем металл, всплывает на поверхность металлической ванны. Шлак, затвердевая, образует защитную шлаковую корку *в*. Область дуги и расплавленного металла защищается образуемой при плавлении обмазки газовой атмосферой, в которой двигаются капли расплавленного металла *е*. Затвердевающий металл формирует сварочный шов.

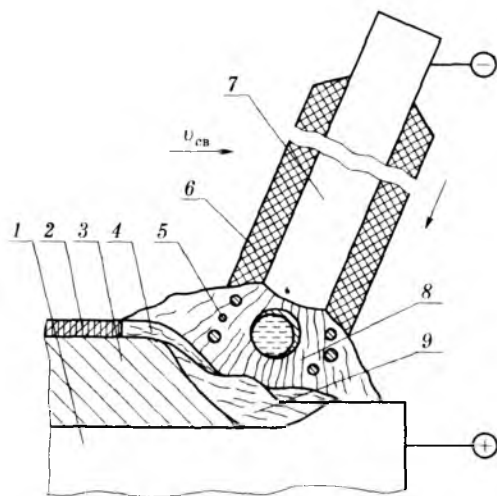


Рис. 3.2. Схема электрической дуги ($v_{св}$ — направление сварки):
1 — основной металл; *2* — шлаковая корка; *3* — наплавленный металл; *4* — жидкий шлак; *5* — капли расплавленного металла; *6* — обмазка электрода; *7* — электрод; *8* — электрическая дуга; *9* — сварочная ванна (кратер дуги)

Для зажигания (возбуждения) дуги электрод и изделие, находящиеся под напряжением, приводят в соприкосновение. Зажигание дуги осуществляют методом толчкового касания электродом детали с последующим отводом электрода на небольшое расстояние или касательного чиркания электродом поверхности детали, как при зажигании спички. Вследствие высокой плотности тока в месте контакта происходит сильное нагревание конца электрода и соприкасающегося с ним участка изделия. Это обеспечивает образование дугового разряда в момент отведения электрода от поверхности изделия.

Устойчивое горение, необходимое для высокого качества сварки, достигается при длине дуги $a = 3...5$ мм. Величину проплавления свариваемого металла называют глубиной сварки.

Обычно в сварочную ванну с электрода в виде капель стекает до 90 % всего металла плавящегося электрода. Оставшиеся 10 % металла не достигают сварочной ванны вследствие частичного разбрызгивания, испарения и окисления.

При любом способе сварки и положения шва в пространстве металл всегда переходит с электрода на изделие в виде капель (рис. 3.3). Капли 1 жидкого металла переносятся от электрода 3 к сварочной ванне 5 под действием силы тяжести, сил поверхностного натяжения, давления образующихся в металле газов и сжимающего действия электромагнитных сил 2, способствующих образованию шейки 4.

Поверхностное натяжение способствует переносу металла с электрода на изделие при приме-

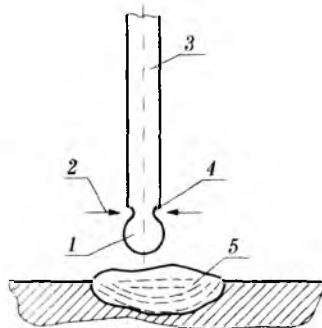


Рис. 3.3. Схема деформации капли металла:

- 1 — капля металла;
- 2 — электромагнитные силы сжатия;
- 3 — электрод; 4 — шейка на капле металла;
- 5 — сварочная ванна

нении короткой дуги. Сила давления газов, возникающих при плавлении электрода, также помогает процессу переноса капли с электрода на деталь. Это также очень важно при потолочной сварке. Электрический ток, проходящий по электроду, создаёт вокруг электрода магнитное силовое поле, которое оказывает сжимающее действие на жидкую каплю металла и образует шейку при его расплавлении (пинч-эффект). Электромагнитные силы способствуют переносу капли металла при всех положениях шва в пространстве с электрода на изделие.

Для зажигания электрической дуги необходима сравнительно небольшая разность потенциалов на электродах: обычно для металлических электродов она составляет около 45...60 В при постоянном токе и около 50...70 В при переменном. После возбуждения дуги напряжение уменьшается. Дуга между металлическим электродом и свариваемым металлом устойчиво горит при напряжении 15...30 В, а между угольным и графитовым электродами и металлом — при напряжении 30...35 В. Напряжение, необходимое для поддержания горения дуги, зависит от длины дуги, химического состава электродного стержня, его покрытия, давления газов в окружающей среде, величины и рода тока. Но в основном оно определяется длиной дуги.

При работе на постоянном токе свариваемое изделие обычно присоединяют к положительному полюсу (аноду), а электрод — к отрицательному полюсу (катоду). Такое соединение применяют при сварке с прямой полярностью. Иногда (особенно при малых сечениях изделия), во избежание прожога, изделие присоединяют к катоду, а электрод к аноду. Такое соединение применяют при сварке с обратной полярностью.

Горение дуги при использовании переменного тока менее устойчиво, чем при постоянном. Устойчивость дуги увеличивается с повышением напряжения, с увеличением частоты переменного тока или созданием специальной газовой среды путём применения специальных обмазок на электродах.

Напряжение дуги между электродом и деталью главным образом зависит от длины дуги, силы тока, а также от материала и размера электродов, теплового состояния дугового столба, степени его ионизации и др.

Для определения напряжения дуги упрощённо пользуются следующей эмпирической формулой:

$$U = a + bL,$$

где U — напряжение дуги, В;

L — длина дуги, мм;

a и b — постоянные коэффициенты, определяемые опытным путём и зависящие от материала электродов, состава газовой среды и др.;

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.

Источником питания электродуги для сварки может быть постоянный и переменный ток. При дуговой разрядке температура дуги достигает в центре осевой её части до 6000...7000 °С в зависимости от силы и плотности тока.

Для получения высококачественного сварного соединения необходимо иметь устойчивость горения дуги и не допускать её прерывистости.

Расстояние между электродом и свариваемым металлом при сварке плавящимся электродом должно быть не более 0,6...0,8 диаметра электрода; практически длина дуги в этом случае составляет 3...4 мм. При короткой дуге происходит меньшее насыщение металла кислородом и азотом, которые снижают прочность металла 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 100 раз в секунду меняет своё направление, дуга периодически гас-

нет и зажигается, и при наличии недостаточной ионизации между электродами дуга может прерваться.

Повышение устойчивости дуги достигается путём применения переменного тока повышенной частоты — 150...450 Гц, использованием ионизирующих покрытий на электродах (K_2CO_3 , $CaCO_3$) или наложением токов высокой частоты (ТВЧ) на основной ток дуги. В последнем случае устойчивость дуги получается за счёт непрерывной ионизации дугового столба ТВЧ. Это достигается подачей на электрод кроме напряжения от основного источника питания одновременно и напряжения повышенной частоты от прибора (осциллятора). Частота тока может достигать до 10^6 Гц при напряжении 2500...3000 В. Потребляемая мощность составляет сравнительно небольшую величину (0,2...0,3 кВт).

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.

Электрические свойства сварочной дуги при постоянной длине дуг и характеризуются статической вольтамперной характеристикой, зависимостью между напряжением дуги и сварочным током (рис. 3.4). На кривой данной зависимости различают три участка: крутопадающий *I*, горизонтальный (жёсткая характеристика) *II*, и возрастающий (режим саморегулирования) *III*. Ручную дуговую сварку, сварку в среде защитных газов неплавящимся электродом, автоматическую сварку под слоем флюса и др. ведут дугой с жёсткой характеристикой. Такой режим ведения сварки удобен, так как напряжение практически не зависит от тока. Дугу с возрастающей характеристикой *III* используют при газозлектрической сварке плавящимся электродом, а также в некоторых случаях при автоматической сварке под

слоем флюса. Дуга с такой характеристикой обеспечивает перенос электродного металла в виде мелких капель или даже струй. Изменение величины электродного промежутка ведёт к изменению этого переноса и к восстановлению его первоначальных размеров, т.е. к режиму саморегулирования. Первый участок *I* характеризуется неустойчивыми режимами горения дуги.

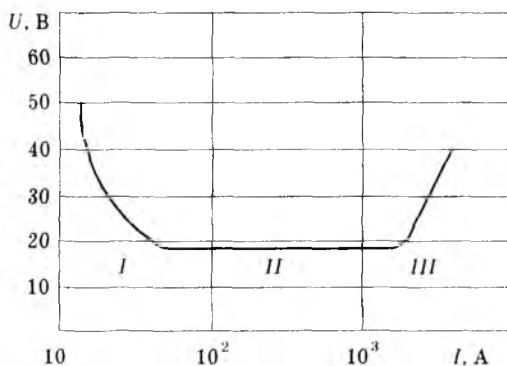


Рис. 3.4. Статистическая вольтамперная характеристика дуги постоянной длины:

I — крутопадающий участок; *II* — горизонтальный участок (жёсткая характеристика); *III* — возрастающий участок

3.2. Способы сварки плавлением

3.2.1. Основные сведения

В практике применяют два способа дуговой электросварки: сварка неплавящимся электродом и сварка плавящимся металлическим электродом.

При первом способе, разработанном Н. Н. Бенардосом, сварка деталей *5* обычно производится угольным или вольфрамовым электродом *2* в держателе *1* по схеме, приведённой на рисунке 3.5, *а*. Сварка производится постоянным

током. Неплавящийся электрод обычно присоединяют к отрицательному полюсу генератора, а изделие — к положительному полюсу. В электрическую дугу вводят присадочный пруток 4. При сварке с обратной полярностью дуга получается менее устойчивой.

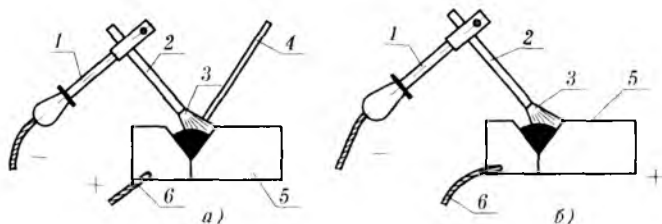


Рис. 3.5. Схемы электрической сварки:
а — неплавящимся электродом; *б* — плавящимся электродом;
 1 — держатель электрода; 2 — электрод;
 3 — дуга; 4 — присадочный пруток; 5 — деталь;
 6 — подсоединяемый гибкий провод

Второй способ сварки был разработан Н. Г. Славяновым. Сварка производится плавящимся электродом (рис. 3.5, б). Дуга 3 горит между электродом и деталями. Жидкий металл, образуемый плавлением кромок деталей 5 и электрода 2, формирует сварочный шов.

Электрическая дуга при сварке металлов может быть зависимой и независимой. Независимая дуга горит между двумя угольными электродами вблизи свариваемых деталей; металл нагревается за счёт косвенного действия дуги.

Различают три вида сварочной дуги — закрытую, защищённую и открытую.

Наиболее эффективная защита металла от воздействия окружающей среды достигается при закрытой дуге, погружением её в жидкость, газовую среду или в гранулированные стекловидные флюсы.

Широкое применение получила электрическая дуга, в которой металл защищён от воздействия окружающей среды слоем шлака или оболочкой газа. Шлак образуется приме-

нением качественных обмазанных электродов. Иногда в зону сварки подают активные или инертные газы, которые изолируют дугу от внешней среды. Неответственные детали обычно сваривают открытой дугой без защиты от воздействия воздуха. В этом случае целесообразно применять постоянный ток для обеспечения большей устойчивости горения дуги.

В промышленности применяют разнообразные способы сварки, которые по виду энергии, используемой для нагрева металла, можно объединить в три основные группы: сварка с использованием химической энергии; электрическая сварка; сварка с использованием механической энергии.

По состоянию металла в процессе сварки способы разделяются на сварку плавлением и сварку в пластическом состоянии с последующим деформированием. В зависимости от вида механизации процесса различают сварку ручную, полуавтоматическую и автоматическую.

Кроме основных наиболее распространённых способов, применяют также особые виды сварки: ультразвуковую, трением, давлением, диффузионную, электроннолучевую и др.

При сварке с использованием химической энергии необходимое тепло образуется за счёт химических реакций. Ниже рассматриваются некоторые виды химической сварки.

Кузнечно-горновая сварка. Свариваемые стальные детали нагревают до высокой температуры 1300...1350 °С, насыпают на свариваемые поверхности сухой кварцевый песок и снова подвергают нагреву до высокой температуры. Происходит химическое соединение тугоплавких окислов металла и окиси кремния, в результате чего образуется силикат — легкоплавкий флюс в виде жидкого шлака. Таким способом обеспечивается удаление с поверхности деталей окисных плёнок, препятствующих соединению металла при сварке. Затем свариваемые детали накладывают друг на друга и под ударом молота или кувалды происходит выдавливание шлака из стыка и соединение деталей. Такой вид сварки применяется редко в настоящее время и лишь при сварке единичных деталей.

Термитная сварка. При термитной сварке для нагрева применяют порошкообразную горючую смесь — термит, представляющий собой механическую смесь порошков алюминия и железной окалины. При сгорании термитной смеси развивается температура до 3000°C , происходит расплавление концов свариваемых деталей. После затвердевания металла обеспечивается прочное соединение деталей. Термитная сварка применяется при ремонтных работах, особенно в полевых условиях, при сварке трамвайных рельсов и др.

Для сварки тонких изделий (телеграфных и телефонных проводов) применяют магнитный термит — порошкообразную смесь металлического магния и железной окалины. Магниевый термит изготавливается прессованием в виде цилиндрических шашек с осевым каналом для пропуска провода. При сгорании термита получается прочное соединение в виде спёкшейся пористой окиси магния, пропитанной железом и его окислами.

Газовая сварка. Этот вид сварки имеет значительное применение. Сварка осуществляется за счёт тепла, образующегося при сгорании горючего газа (обычно ацетилена) в кислороде. При сварке происходит расплавление кромок свариваемых деталей, а также присадочного прутка. После затвердевания металла получается прочное соединение.

Газопрессовая сварка. При данном виде сварки кромки свариваемых деталей доводятся до пластического состояния или до оплавления и затем сдавливаются. Этим методом сваривают магистральные газопроводы с использованием специального оборудования.

Электродуговая сварка. Электродуговая сварка осуществляется плавящимися и неплавящимися электродами. При применении неплавящихся электродов (вольфрамовых или угольных) в область электрической дуги вручную или автоматически подаётся присадочный пруток. Тепловая энергия, выделяемая при образовании дугового разряда между электродом и свариваемым изделием ведёт к опла-

лению кромок свариваемых деталей и расплавлению металлического электрода или присадочного прутка. Применяется электродуговая сварка ручная, полуавтоматическая и автоматическая.

Контактная сварка. При контактной сварке нагрев металла до пластического состояния или до оплавления происходит за счёт выделения тепла при прохождении тока через металл (закон Джоуля-Ленца).

Электродшлаковая сварка. Сущность этой сварки заключается в том, что первоначально возбуждают электродугу для расплавления металла электрода и флюса. Затем дуга гаснет в слое расплавленного шлака и дальнейшее выделение тепла происходит за счёт прохождения электрического тока через шлак, оплавляющий кромки соединяемых деталей и полностью расплавляющий электрод или присадочный материал. Расплавленный металл заполняет пространство между кромками деталей, формируя сварочный шов.

3.2.2. Ручная электродуговая сварка

Ручная электродуговая сварка металлическими электродами с покрытием является одним из самых распространённых способов сварки. Её применяют для соединения заготовок толщиной до 30 мм короткими швами. Для сварки применяют электроды, представляющие металлические стержни с нанесённым на него покрытием, которое получают окунанием в суспензию или напрессовыванием на стержень смеси в виде обмазки. Обмазки состоят из шлакообразующих, газообразующих, легирующих и связующих и др. материалов. В их состав могут входить марганцевые и железные руды, порошки легирующих металлов и ферросплавов, порошки природных минералов, крахмал, целлюлоза и другие вещества.

Электродное покрытие выполняет несколько функций и обеспечивает:

- 1) стабильное горение дуги за счёт присутствия в покрытии легкоионизируемых химических элементов с низким потенциалом ионизации, таких как калий, натрий, кальций;
- 2) защиту металла сварочной ванны, которая осуществляется созданием газовой атмосферы, оттесняющей воздух, и образованием шлака на поверхности сварочной ванны;
- 3) раскисление металла сварочной ванны за счёт присутствия в покрытии более активных, чем железо, химических элементов (кремний и марганец имеет большее сродство к кислороду);
- 4) легирование металла шва за счёт введения в покрытие ферросплавов (Fe-Cr, Fe-Mo и др.) или чистых металлов, которые при сварке переходят в металл шва, изменяя его химический состав.

Длина электродов по ГОСТ 9466-75 в зависимости от диаметра, определяемого диаметром стержня, может составлять 250...450 мм.

Электроды для ручной сварки различают по типам и маркам. Тип электродов обозначается буквой Э и цифрами, *показывающими гарантированный предел прочности наплавленного металла*. Буква А после цифр указывает на повышенные пластические свойства наплавленного металла.

Один тип может включать несколько марок электродов, которые определяют состав покрытия и технологические свойства электродов (род и полярность тока, возможность сварки в различных пространственных положениях и др.).

Требования к электродам для сварки углеродистых и легированных сталей определяются ГОСТ 9467-75, а для сварки высоколегированных сталей — ГОСТ 10052-75.

Техника ручной сварки. Ручную сварку начинают зажиганием дуги путём толчкового прикосновения конца электрода к свариваемому изделию, позволяющего сделать быстрый отвод на расстояние в несколько миллиметров. На

дуге возникает напряжение 20...25 В, зависящее от длины дуги и марки электрода.

На рисунке 3.5, а показана схема ручной дуговой сварки. Электрическая дуга 3 горит между металлическим стержнем электрода 2 и свариваемой заготовкой 5. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл в виде отдельных капель переносится в сварочную ванну между кромками свариваемых деталей. Вместе со стержнем плавится электродное покрытие, образуя газовую защитную атмосферу 3 вокруг дуги, жидкого шлака, покрывающего поверхность металлической сварочной ванны. По мере движения дуги происходит затвердевание сварочной ванны и образование сварного шва. Затвердевающий шлак образует на поверхности шва твёрдую шлаковую корку.

Длина дуги значительно влияет на качество сварки. Короткая дуга горит устойчиво и обеспечивает получение высококачественного сварного шва, так как расплавленный металл быстро проходит дуговой промежуток и меньше подвергается окислению и азотированию. Для правильного формирования шва при сварке плавящимся электродом необходимо электрод по отношению к поверхности свариваемого металла держать наклонно, под углом 15...20° от вертикальной линии. Изменяя угол наклона электрода, можно регулировать глубину расплавления основного металла и влиять на скорость охлаждения ванны.

При сварке тонких листов накладывают узкий валик (шириной 0,8...1,5 диаметра электрода) без поперечных колебаний. В других случаях (при сварке толстых листов) применяют уширенные валики. При таких швах концевой участок электрода совершает три движения (манипуляции): поступательное вдоль оси электрода, поступательное вдоль линии шва и колебательные движения. Последний приём улучшает прогрев кромок шва, замедляет остывание ванны наплавленного металла, обеспечивает получение однородного шва и не допускает непровара его корня. Схема колебательных движений конца электрода показана на рисунке 3.6.

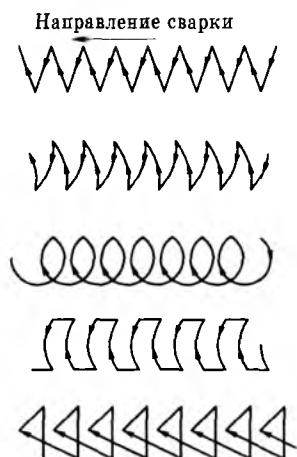


Рис. 3.6. Схема движений электрода при ручной электродуговой сварке

Сварку встык без разделки кромок (рис. 3.7, а) производят преимущественно сквозным проплавлением с одной стороны шва. В этих случаях рекомендуется применять стальные или медные подкладки. Иногда, когда это возможно, производят подварку шва узким валиком с обратной стороны.

При сварке встык шва с V-образной разделкой (рис. 3.7, б) дугу зажигают вблизи скоса кромок и наплавляют валик металла. В зависимости от толщины листа и диаметра электрода шов выполняют за один или несколько проходов.

При многослойной сварке каждый слой тщательно очищают. Число слоёв определяют, в зависимости от размера диаметра электрода. Толщина слоя равна $(0,8 \dots 1,2) d_{эл}$.

Сварку X-образных швов (рис. 3.7, в) с целью уменьшения деформации производят переменным наложением слоёв с обеих сторон стыка деталей с разделанными кромками. При образовании углового шва (рис. 3.7, г, д) электрод ставят под углом 45° к поверхности детали. Применяя повышенные величины тока, во избежание непровара шва,

обе свариваемые поверхности наклоняют к горизонтальной плоскости под углом 45° (сварка в лодочку, рис. 3.7, е).

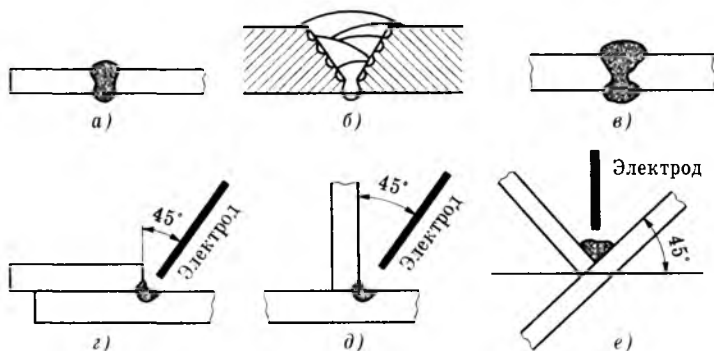


Рис. 3.7. Схема наложения валиков для стыковых и угловых швов

При сварке горизонтальных швов на вертикальной плоскости разделку кромок делают у верхнего листа, дугу возбуждают на нижней кромке, затем постепенно переходят на скошенную верхнюю кромку.

Вертикальные швы сваривать труднее, вследствие стекания расплавленного металла вниз. Для уменьшения стекания металла работу ведут короткой дугой и в направлении снизу вверх за исключением листов толщиной до 1,5 мм.

Сварку потолочных швов проводят очень короткой дугой, при которой происходит короткое замыкание электрода на деталь. Применяют электроды с тугоплавкой обмазкой, которая образует вокруг торца электрода трубочку, содержащую направленный газовый поток, направляющий капли расплавленного электродного металла на поверхность свариваемой детали. Жидкий металл удерживается силами поверхностного натяжения.

Усовершенствованные способы ручной сварки. Совершенствование приёмов и способов ручной сварки ведётся с целью повышения её производительности и качества неразъёмного соединения. Важнейшими технологическими при-

ёмами скоростной сварки являются: сварка с глубоким проплавлением, сварка спаренным электродом, пучком электродов, многоэлектродная сварка трёхфазной дугой лежачим электродом и т.д.

Сварка глубоким проплавлением (рис. 3.8, *а*) повышает производительность на 150...200 %. Электроды покрывают качественным покрытием 1, которое имеет более высокую температуру плавления, чем металл электродного стержня 2. Плавление металла стержня происходит внутри обмазки 3, имеющей вид конусной втулочки 4, опирающейся на поверхность свариваемого изделия 5. Эта втулочка предохраняет от короткого замыкания, облегчает ведение процесса, позволяет лучше использовать тепло дуги и обеспечивает более глубокий провар.

При сварке спаренным электродом два электрода соединяют вместе так, чтобы один стержень оказался длиннее другого на 30...40 мм. К этому стержню подводят ток. Затем электроды покрывают общим слоем обмазки. Дуга образуется между длинным стержнем и изделием, а другой стержень расплавляется за счёт избыточного тепла дуги.

Разновидностью сварки спаренным электродом является сварка пучком электродов (3...4 шт). При определении величины тока принимается суммарный диаметр пучка электродов, т.е.

$$I = (20...30) \sum d.$$

Схема сварки пучком электродов показана на рисунке 3.8, *б*. При возбуждении дуги ток сначала проходит через первый электрод, затем через второй, третий и т.д.

Разновидностью этого способа является многоэлектродная наплавка блуждающей дугой (рис. 3.8, *в*). Несколько электродов собирают в один ряд в виде гребёнки, с небольшим расстоянием друг от друга. Ток подводят одним полюсом к изделию, а другим полюсом — ко всем электродам. Дуга под слоем флюса перемещается от одного электрода к другому или одновременно горит от нескольких электро-

дов; при этом основной металл проплавляется незначительно. В процессе сварки автоматически подаются электроды и флюс.

Сварка трёхфазной дугой (рис. 3.8, *г*) по сравнению со сваркой однофазной дугой повышает производительность в 2...3 раза, уменьшает расход электроэнергии на 25 % и обеспечивает более глубокий провар сварного изделия.

Каждую фазу источника тока *1* подключают к двум параллельным электродам *2*, имеющим толстую обмазку; третью фазу подключают к изделию *3*. При замыкании дуги образуются три дуги *4*. Дуги обеспечивают стабильность и надёжность процесса сварки.

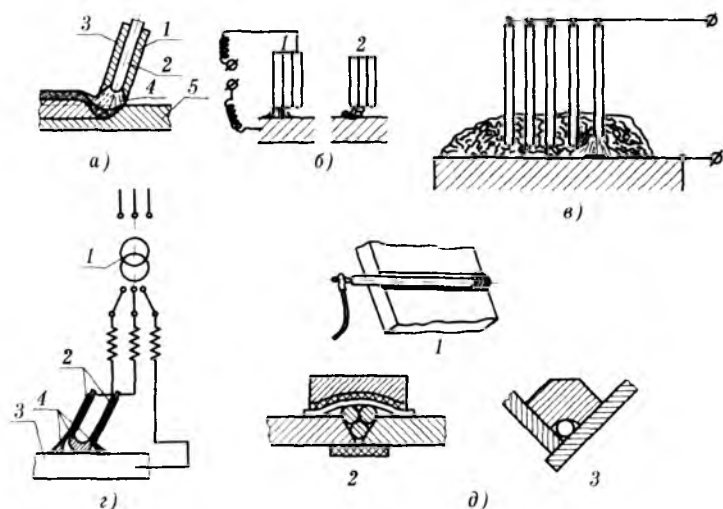


Рис. 3.8. Усовершенствованные методы ручной сварки:

а — сварка глубоким проплавлением: *1* — покрытие;
2 — электродный стержень; *3* — обмазка электрода;
4 — полый участок электрода; *5* — изделие;

б — сварка спаренным электродом или пучком электродов (3-4 шт);

в — многоэлектродная наплавка блуждающей дугой;

г — сварка трёхфазной дугой: *1* — источник тока;

2 — электроды; *3* — изделие; *4* — трёхфазная дуга;

д — сварка лежачим электродом

К усовершенствованным методам можно отнести сварку лежачим электродом (рис. 3.8, *д*). Электрод с качественным покрытием или пучок электродов укладывают в разделку кромок деталей при стыковом соединении 1, 2 или в угол при тавровом соединении 3.

Сварку лежачим электродом можно вести на постоянном и переменном токе, но лучшие результаты даёт сварка на постоянном токе прямой полярности. Ток подводят к электроду и изделию. Электрод, расплавляясь, образует шов.

Режим сварки. Условия сварки определяются совокупностью контролируемых параметров процесса, которые составляют режим сварки.

К основным параметрам относятся диаметр электрода, сила, род и полярность тока, напряжение на дуге, скорость сварки.

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины металла, размеров шва и его положения в пространстве. Примерное соотношение между толщиной металла s и диаметром электрода d_s , при сварке в нижнем положении представлено в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Выбор диаметра электрода в зависимости от толщины металла

s , мм	0,5	1-2	3-5	4-10	12-24	30 и более
d_s , мм	1,5	2-3	3-4	4-5	5-6	6-8

Величина сварочного тока зависит от толщины свариваемого металла, типа соединения, скорости сварки, положения шва в пространстве, толщины и вида покрытия электрода и его рабочей длины. Но определяющее значение для определения силы тока имеет диаметр электрода. Практически величину сварочного тока при сварке электродами из малоуглеродистой стали можно определять по формуле:

$$I_{св} = (40...60) d,$$

где d — диаметр электрода.

Величина сварочного тока оказывает влияние не только на глубину провара, но и на форму шва. При ширине шва, равной 3-4 диаметрам электрода, получается наиболее благоприятная форма шва.

Длина дуги оказывает существенное влияние на качество шва; чем короче дуга, тем выше качество наплавленного металла. Длину дуги определяют по формуле:

$$l_d = 0,5(d + 2) \text{ мм},$$

где d — диаметр электрода.

Практикой установлено, что сварка ведётся при величине сварочного тока более 100 А, напряжение горения дуги зависит только от длины дуги и определяется по формуле:

$$U_d = \alpha + \beta l_d,$$

где α — коэффициент, характеризующий падение напряжения на электродах: для стальных электродов $\alpha = 10...12$, для угольных $\alpha = 35...38$;

β — коэффициент, характеризующий падение напряжения на 1 мм длины столба дуги; $\beta = 2,0...2,5$ длина воздушного промежутка).

Напряжение зажигания дуги для постоянного тока равно 40...60 В, а для переменного тока 50...70 В.

Производительность сварки зависит от затрачиваемого времени и диаметра электрода. Полное время определяется по формуле:

$$T_n = \frac{t_0}{k},$$

где t_0 — основное время горения дуги;

k — коэффициент загрузки сварщика, равный 0,4...0,8 в зависимости от вида производства и характера выполняемой работы.

Основное время горения дуги можно определить по формуле:

$$t_0 = \frac{G_{нм}}{I_{св} k_n},$$

где $G_{\text{нм}}$ — количество наплавленного металла;

$I_{\text{св}}$ — сварочный ток;

$k_{\text{н}}$ — коэффициент наплавки, т.е. количество электро-
дного металла в граммах, наплавленное в течение 1 ч, при-
ходящееся на 1 А сварочного тока с учётом марки электро-
да, потери металла на угар и разбрызгивание; для тонко-
обмазанных электродов $k_{\text{н}} = 7 \dots 8$ г/А · ч, для толстобмазан-
ных $k_{\text{н}} = 10 \dots 12$ г/А · ч и выше. Массу наплавленного метал-
ла определяют по формуле:

$$G_{\text{нм}} = L F_{\text{н}} \rho,$$

где L — длина шва;

$F_{\text{н}}$ — площадь поперечного сечения наплавленного ме-
талла в шве (определение см. ниже);

ρ — плотность наплавленного металла.

Скорость сварки равна:

$$V_{\text{св}} = \frac{L}{t_0}.$$

Сила тока не должна быть чрезмерной, так как протека-
ющий по электроду ток быстро нагревает его, что приводит
к повышенному разбрызгиванию металла. При недостаточ-
ной силе тока дуга неустойчива, что может привести к появ-
лению в шве непроваров.

При сварке швов в вертикальном и потолочном положениях
выбирают электроды диаметром не более 4 мм, а силу тока на
10-20 % меньше, чем для сварки в нижнем положении.

Напряжение на дуге определяют по справочным данным
или по сертификатам, приложенным к упаковке электродов.

Коэффициент наплавки, который имеет размерность
г/(А · ч), приводится в паспортных данных на каждую мар-
ку электродов.

При известных размерах свариваемого изделия, длине
сварных швов и площади сечения шва можно заранее под-
считать предполагаемый расход электродов и электроэнер-
гии, а также трудоёмкость сварки. Для этого определяют

долю наплавленного металла в общем объёме сварочного шва. Объем наплавленного металла в сварочном шве находят умножением площади поперечного сечения наплавленного металла на длину шва. Эта площадь поперечного сечения наплавки складывается из суммы элементарных площадей, число и форма которых зависит от разделки (подготовки к сварке) кромок свариваемых деталей. На рисунке 3.9 показаны схемы для определения требуемых площадей.

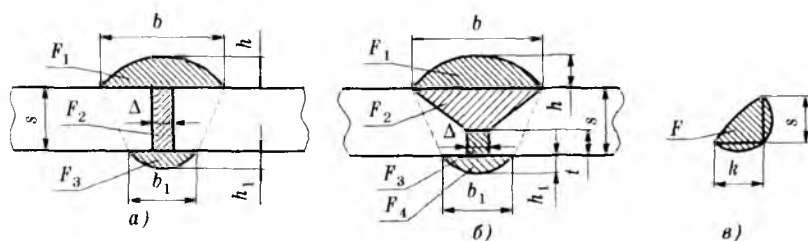


Рис. 3.9. Схема для расчёта площадей сечений наплавленного металла:

а — стыковой шов без разделки кромок; б — стыковой шов с V-образной разделкой кромок; в — угловой шов

Для стыкового шва без разделки кромок площадь сечения наплавленного металла равна:

$$F_{\text{нм}} = F_1 + F_2 + F_3 = 2/3bh + \Delta \cdot s + 2/3b_1h_1.$$

Здесь F_1 и F_3 — сегменты, представляющие собой валики сварного шва для его усиления, а F_2 — прямоугольник, образуемый зазором между стыками деталей.

Для стыкового шва с V-образной разделкой кромок площадь сечения наплавленного металла равна:

$$F_{\text{нм}} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 2/3bh + S(b + \Delta)(s - t) + t \cdot \Delta + 2/3b_1h_1.$$

Для углового шва площадь сечения наплавленного металла равна $F_{\text{нм}} = 1/2k^2$.

Для других форм разделки кромок свариваемых деталей площадь поперечного сечения наплавленного металла подсчитывают на основе суммирования площадей геометрических фигур.

Масса (г) наплавленного металла для сварки изделия:

$$G_{\text{нм}} = F_{\text{нм}} L \rho,$$

где $F_{\text{нм}}$ — площадь наплавленного металла, см^2 ;

L — длина шва, см;

ρ — плотность металла, г/см^3 .

Масса электродов, с учётом массы покрытия, а также потерь металла на разбрызгивание и угар, будет равна:

$$G_{\text{э}} = (1,6 \dots 1,8) G_{\text{нм}}.$$

Требуемое для сварки время (ч) определяют по формуле:

$$t = G_{\text{нм}} / (k_{\text{н}} I_{\text{св}}).$$

Скорость сварки (м/ч) однослойного шва равна:

$$V_{\text{св}} = L/t.$$

Расход электроэнергии A ($\text{Вт} \cdot \text{ч}$) определяют по известным параметрам дуги и времени сварки:

$$A = U_{\text{д}} I_{\text{св}} t.$$

Эта формула не учитывает потери при холостом режиме работы источника питания.

3.2.3. Автоматическая и полуавтоматическая электродуговая сварка под флюсом

Сварка под флюсом отличается устойчивым высоким качеством изделий, высокой производительностью сварных работ, малым расходом электродного металла, экономией электроэнергии и высоким уровнем санитарно-гигиенических условий труда.

Схема автоматической сварки под флюсом показана на рисунке 3.10. Сварочная дуга $б$ горит между электродом 1 , представляющим собой не покрытую электродную проволоку, и основным металлом 5 . С помощью механизма подачи 2 проволока, к которой ток подводится через токоподвод 3 , подаётся в зону сварки. Сварочная дуга $б$ и сварочная ванна 7 изолированы от окружающей среды слоем гранулированного флюса 4 толщиной в $30 \dots 50$ мм. Сварочная ванна

состоит из расплавленного металла, образованного расплавлением кромок свариваемых деталей и сварочной проволоки. Флюс в области дуги и сварочной ванны, расплавляясь, образует жидкую шлаковую ванну 8. По мере перемещения дуги вдоль кромок свариваемых деталей происходит кристаллизация металла и образуется сварной шов 9, покрытый шлаковой коркой 10. Не расплавившийся флюс пневмоустройством отсасывается в бункер и снова используется.

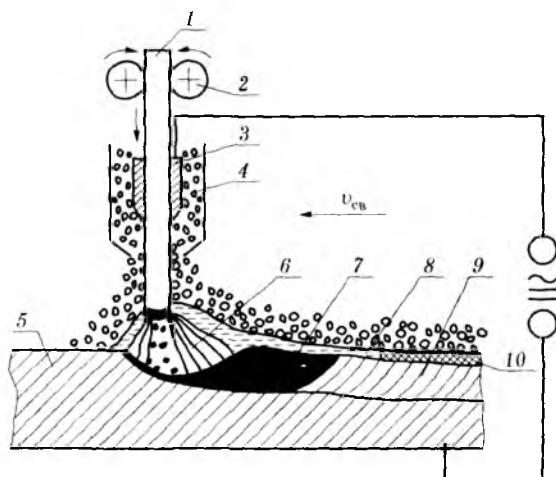


Рис. 3.10. Схема автоматической сварки под флюсом:
 1 — электрод; 2 — механизм подачи; 3 — токоподвод;
 4 — флюс; 5 — основной металл; 6 — сварочная дуга;
 7 — сварочная ванна; 8 — жидкая шлаковая ванна;
 9 — сварочный шов; 10 — шлаковая корка

Сварочный флюс выполняет те же функции, что и электродное покрытие при ручной сварке, обеспечивая стабилизацию дуги, защиту металла, раскисление и легирование.

Автоматическая дуговая сварка под флюсом имеет ряд преимуществ перед ручной сваркой:

- высокое качество сварки обеспечивается надёжной защитой металла, стабильными размерами и формой сечения шва, отсутствием перерывов в процессе сварки, вызываемых сменой электродов при ручной сварке;

- высокая производительность процесса (в 15...20 раз выше, чем при ручной сварке) объясняется возможностью использовать высокие плотности тока (50...200 А/мм² вместо 10...20 А/мм² при ручной сварке). Такая возможность появляется за счёт расположения токоподвода в непосредственной близости от дуги. Эта конструктивная особенность способствует повышению коэффициента наплавки, так как снижаются потери электроэнергии и создаются условия для повышения плотности тока. Кроме этого высокие плотности тока позволяют проплавить металл значительной толщины без разделки кромок. Данная особенность предопределяет высокую производительность процесса;
- экономия материала достигается за счёт уменьшения потерь металла на разбрызгивание (1...2 % вместо 10 % при ручной сварке), отсутствия огарков электродов;
- лучше условия труда. Дуга закрыта флюсом, вследствие чего исключается излучение дуги в окружающую среду, значительно уменьшается выделение газов.

Автоматическую сварку под флюсом применяют для сварки в нижнем положении металла толщиной от 2 до 100 мм. Сваривают стали различного состава, медь, титан, алюминий и сплавы на их основе.

Автоматическую сварку целесообразно применять для сварки длинных прямолинейных изделий, как балки, полотно обшивки судов, нефтехранилищ, а также кольцевых швов цилиндрических ёмкостей, цистерн.

Сварку выполняют либо самоходными сварочными тракторами (так называют аппарат для сварки с самоходной тележкой), перемещающимися по поверхности изделия, или по переносному пути, уложенному на изделие (рис. 3.11), либо неподвижными сварочными головками, под которыми перемещается изделие.

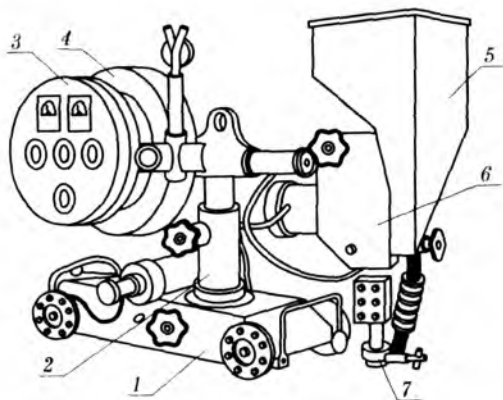


Рис. 3.11. Схема сварочного трактора для автоматической сварки:
1 — самоходная тележка; 2 — вертикальная колонка; 3 — пульт управления; 4 — кассета с проволокой; 5 — бункер для флюса; 6 — механизм подачи; 7 — токоподводящий мундштук

Сварку под флюсом ведут с использованием электродной проволоки марок Св-08, Св-10 и других диаметром 1...6 мм при силе тока 150...2000 А. Напряжение на дуге 22...55 В. Скорость сварки 30...50 м/ч, но может достигать и 120 м/ч.

Автоматическую сварку и наплавку под флюсом осуществляют при помощи сварочных автоматов выпускаемых в двух видах: подвесные (неподвижные и самоходные) головки и сварочные тракторы.

Сварочный автомат содержит также ходовой механизм и механизм перемещения головки по вертикали, необходимые для механизации процесса. Кроме того, имеется система подачи флюса и отсоса его нерасплавившегося остатка.

Сварку проводят также самоходными аппаратами, сварочными тракторами, которые передвигаются непосредственно по изделию.

Полуавтоматическая сварка под флюсом характеризуется тем, что механизирована лишь подача электродной проволоки, дуга вдоль сварного шва перемещается вручную с помощью держателя — наконечника. Сварочный ап-

парат в этом случае называют шланговым полуавтоматом. Он состоит из источника сварочного тока, пульта управления, гибкого шланга для подачи проволоки и сварочного тока по вмонтированным в него медным проводам к месту сварки и держателя, снабжённого бункером для флюса.

Электродная проволока при сварке под флюсом имеет сплошное сечение, но может применяться и порошковая проволока.

При автоматической и полуавтоматической сварках применяют флюсы, которые защищают наплавляемый металл от воздуха и легируют металл шва.

Флюс представляет собой сыпучий неметаллический материал, получаемый либо сплавлением с последующей грануляцией, либо спеканием исходных компонентов. В промышленности преимущественное применение имеют плавленные флюсы. Примером современных флюсов могут служить флюсы ОСЦ-45 и АН-348А, шихта которых состоит из марганцевой руды (MnO), кварцевого песка (SiO_2) и плавикового шпата (CaF_2).

Флюсы могут быть общего (для сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей) или специального назначения (для электрошлаковой сварки, сварки легированных сталей). Применяются также флюсы для сварки цветных металлов и сплавов.

По способу изготовления флюсы делятся на неплавленные и плавленные. К неплавленным флюсам относят керамические и спечённые флюсы, а также флюсы-смеси. Наиболее распространённые при автоматической сварке плавные флюсы производятся методом сплавления отдельных элементов в электрических или пламенных печах.

По химическому составу сварочные флюсы подразделяются на оксидные, солевые и солеоксидные. Оксидные флюсы, состоящие из оксидов металлов и фтористых соединений (до 10 %), применяются для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Солевые флюсы, содержащие фтористые и хлористые соли металлов, используются при

сварке алюминиевых и титановых сплавов, а также при электрошлаковой сварке. Солеоксидные флюсы, включающие фториды и оксиды металлов, являются эффективными при сварке и наплавке высоколегированных сталей.

Технологический режим сварки под флюсом характеризуется следующими основными параметрами: диаметром электродной проволоки, величиной сварочного тока, напряжением дуги и скоростью перемещения дуги.

Автоматическая сварка под флюсом проводится сварочной проволокой диаметром 1...6 мм при силе тока 150...2000 А и напряжением дуги 22...55 В, полуавтоматическая — диаметром 0,8...2 мм при силе тока 100...500 А и напряжением дуги 22...38 В.

При проведении автоматической сварки под флюсом из-за проплавления металла на всю толщину возможно вытекание сварочной ванны из стыка или прожигание сварочного шва. Поэтому применяют специальные приспособления, обеспечивающие проведение сварки на флюсовой подушке, а также металлические пластины подкладки. Для повышения производительности труда при наложении одной дугой многослойных швов в зазор между свариваемыми деталями вводят металлические наполнители в виде порошков, проволоки, окатышей и других материалов.

При сварке под флюсом деталей с воздушным пространством под швом сложно получить шов с полным проваром по всей длине и избежать прожогов. Поэтому стыковые швы сваривают двусторонним швом, а при односторонней сварке применяют различные приёмы, способствующие формированию корня шва. Это сварка на медной охлаждаемой подкладке, удаляемой после сварки, сварка с остающейся после сварки стальной подкладкой, сварка с предварительной ручной или автоматической подваркой корня шва, а также сварка на флюсовой подушке. Основное положение угловых швов при сварке — «в лодочку», т.е. поворотом деталей для образования пространственного положения шва, препятствующего вытеканию жидкого металла из сварочной ванны в сторону.

3.2.4. Дуговая сварка в среде защитных газов

Особенность дуговой сварки в среде защитных газов состоит в изолировании защитным газом сварочной дуги, нагретого до высокой температуры основного и электродного металла, а также расплавленного металла сварочной ванны от вредного воздействия воздуха. Эта защита осуществляется неподвижной атмосферой защитного газа (сварка в камере) или с помощью струи защитного газа, подаваемого в зону сварки специальной горелкой.

Вместе с тем надёжность защиты определяется условиями проведения сварки: в цехе обеспечивается стабильная защита, но использование газовой защиты на открытом воздухе при проведении монтажных работ может быть затруднено воздушными потоками. Велико также влияние типа сварного соединения и скорости перемещения сварочной дуги.

Защитной средой служат газы: инертные одноатомные (аргон, гелий), нейтральные двухатомные (азот, водород) и углекислый газ. Наиболее распространёнными видами являются аргонодуговая сварка и сварка в среде углекислого газа. Могут применяться и смеси газов.

- К особенностям сварки в защитных газах следует отнести:
- возможность ведения работы при любых пространственных положениях шва;
 - отсутствие необходимости применения флюсов;
 - высокое качество сварного соединения;
 - формирование шва, на поверхности которого отсутствуют оксиды и шлаковые включения;
 - получение металла сварного шва с более однородным химическим составом, в сравнении с другими способами;
 - обеспечение малой зоны термического влияния из-за концентрированного нагрева;
 - процесс сварки достаточно производителен и экономичен, хорошо поддаётся автоматизации;
 - возможность соединения металлов толщиной от 0,1 до 100 мм.

В производственной практике находят применение следующие разновидности сварки в атмосфере защитных газов: ручная, полуавтоматическая и автоматическая неплавящимся или плавящимся электродами. Присадочными материалами или плавящимися электродами являются различные марки сварочной проволоки.

Сварка неплавящимся электродом ведётся в среде инертных газов на постоянном токе прямой полярности, что обеспечивает высокую устойчивость процесса. Даже при большом сварочном токе электрод нагревается и расходится сравнительно мало. Сварочный шов может формироваться только из металла расплавленных кромок соединяемых элементов, если их толщина не превышает 3 мм и на кромках предусмотрена отбортовка. При больших толщинах добавляется металл присадочной проволоки.

При сварке неплавящимся электродом на переменном токе наблюдается неустойчивое горение дуги, хуже очищается поверхность сварочной ванны от оксидов и может нарушаться процесс формирования шва.

Сварка плавящимся электродом в атмосфере аргона для легко окисляющихся металлов (алюминий и магний) проводится с применением постоянного тока обратной полярности. Соединение деталей ведётся при высокой плотности тока. Такой режим сварки объясняется необходимостью разрушения оксидной плёнки и удаления загрязнений с поверхности свариваемых металлов. Это осуществляется бомбардировкой плёнки тяжёлыми положительно заряженными ионами аргона и последующим её распылением (эффект катодного распыления).

Из достаточно большого количества способов сварки в среде защитных газов наибольшее распространение получили сварка в среде гелия, аргона и углекислого газа. Применяют смеси инертных и активных газов, например аргона с кислородом, азотом, водородом и углекислым газом. Защитный газ выбирают в зависимости от чувствительности свариваемых металлов к примесям, содержащихся в защитных газах. При сварке особо ответственных изделий и изделий из

химически активных металлов содержание примесей в защитных газах не должно превышать 0,02 %. Для других металлов требования к чистоте защитного газа снижаются. При сварке сплавов на основе алюминия и магния суммарное содержание примесей может составлять от 0,05 до 0,1 %, а при сварке низколегированных сталей — от 0,1 до 3...5 %.

В связи с тем, что гелий в десять раз легче аргона, расход его при сварке со струйной защитой на 30...40 % больше, чем расход аргона. Напряжение дуги в среде гелия в 1,5...2 раза выше, чем дуги той же длины, горящей в аргоне. Это объясняется более высоким потенциалом ионизации и относительно высокой теплопроводностью гелия. Поэтому при одном и том же токе дуга в гелии обладает большей тепловой мощностью, чем дуга в аргоне, и проплавляет металл на большую глубину. Добавка гелия к аргону повышает стабильность дуги и увеличивает её тепловую мощность. Это относится и к добавкам водорода, способствующим, кроме того, улучшению формирования шва.

В качестве неплавящихся электродов при сварке металла малой толщины применяют прутки из чистого вольфрама или сплава его с лантаном. Небольшие добавки лантана повышают эмиссионную способность электрода, повышают устойчивость дуги и уменьшают расход вольфрама.

Аргоно-дуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом. Технологические возможности дуги при сварке неплавящимся вольфрамовым электродом зависят от рода тока. Когда применяют дугу постоянного тока прямой полярности (отрицательный полюс источника питания соединён с вольфрамовым электродом), большая часть теплоты дуги расходуется на расплавление основного металла. Если изменить полярность дуги, то на вольфраме, являющемся анодом, выделяется большое количество тепловой энергии, электрод сильно разогревается и быстро испаряется. Одновременно уменьшается эффективность расплавления основного металла, а дуга становится неустойчивой. В связи с тем, что это вызывает необходимость снижения плотности

тока, сварку дугой обратной полярности неплавящимся электродом на практике применяют редко.

Вместе с тем дуга обратной полярности обладает ценным свойством — способностью очищать поверхность металла от окисных и нитридных плёнок, а также других поверхностных загрязнений. Очищающее действие дуги обратной полярности заключается в том, что под действием бомбардировки положительными ионами разрушается окисная и нитридная плёнки и удаляются другие поверхностные загрязнения в зоне катодного пятна на поверхности изделия.

Это свойство дуги обратной полярности используют для сварки на переменном токе неплавящимся электродом сплавов на основе алюминия и магния. Поверхность таких металлов покрыта тугоплавкой плёнкой окислов и нитридов, которые не расплавляются в процессе сварки и препятствуют сплавлению кромок свариваемых частей деталей. В те полупериоды, когда изделие является катодом, происходит очистка его поверхности. В следующем полупериоде усиливается расплавление основного металла и уменьшается нагрев вольфрамового электрода.

После возбуждения дугового разряда с помощью осциллятора последний автоматически выключается и включается генератор импульсов высокого напряжения (импульсный стабилизатор), который в момент изменения полярности подаёт на дугу импульсы напряжения около 300 В, что облегчает восстановление дугового разряда.

Сварку неплавящимся электродом конструкционных нержавеющих хромоникелевых сталей, а также меди и медных сплавов, титана, циркония, молибдена, тантала, ниобия и серебра проводят обычно дугой постоянного тока прямой полярности. Для сварки алюминиевых и магниевых сплавов применяют переменный ток; удовлетворительные результаты могут быть получены и при сварке постоянным током обратной полярности. Однако в связи с необходимостью снижения его величины производительность процесса существенно снижается.

Сварку в камерах выполняют вручную или автоматически. Схема камеры для автоматической сварки приведена на рисунке 3.12, а.

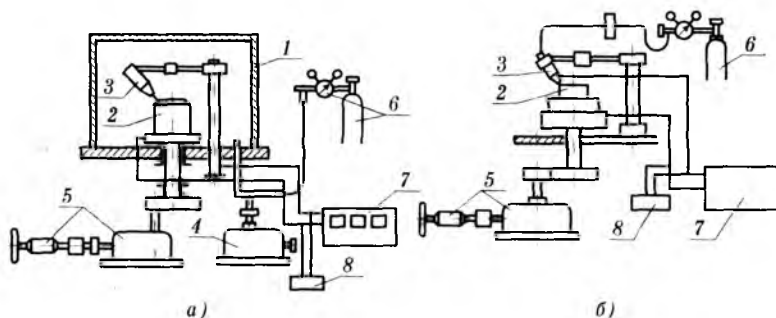


Рис. 3.12. Схема установки для аргонодуговой сварки в закрытой камере (а) и с обдуванием дуги аргоном на воздухе (б):

- 1 — камера с защитным газом; 2 — стол с изделием;
- 3 — горелка; 4 — газовый электрический клапан;
- 5 — механизм вращения; 6 — баллон с газом;
- 7 — источник тока; 8 — осциллятор

Из камеры 1 предварительно откачивают воздух до остаточного давления $10^3 \dots 10^4$ мм рт. ст., а затем её заполняют защитным газом. Для облегчения подвода тока и защитного газа к сварочной горелке 3 её закрепляют неподвижно. Для сварки кольцевых швов труб или круговых швов (приваривание торцевых заглушек к трубкам, доннышек к цилиндрам и т.д.) внутри камеры устанавливают вращающийся стол 2 или патроны для крепления и вращения свариваемых деталей. В камере сделаны окна для наблюдения за дугой и сварочной ванной. Защитный газ подают в камеру через сварочную горелку или через клапан в стенке камеры. Для точной установки горелки относительно свариваемого изделия предусмотрено её перемещение в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Для ручной сварки применяют камеры с двумя люками, в которые вмонтированы резиновые перчатки для рук сварщика.

При сварке с использованием вольфрамовых электродов горелками без водяного охлаждения на постоянном токе прямой полярности допустимая величина тока $I = 80d$. При сварке на переменном токе $I = 60d$, где I — сила тока, А; d — диаметр вольфрамового электрода, мм.

Если горелка охлаждается водой, то допустимый ток может быть увеличен на 20...30 %. При сварке металла толщиной 0,1...0,2 мм, силе тока 5...10 А концевой участок вольфрамового электрода остро затачивают. К общим указаниям по сварке неплавящимся электродом относится необходимость тщательной зачистки свариваемых кромок от окалины, жиров и прочих загрязнений, которая осуществляется механически или травлением.

Сварку плавящимся электродом в защитных газах ведут с помощью автоматов и полуавтоматов.

Для сварки обычно применяют дугу постоянного тока обратной полярности в связи с тем, что при сварке дугой прямой полярности или переменного тока уменьшается стабильность процесса и наблюдается разбрызгивание расплавленного металла.

Характер переноса металла через дуговой промежуток от электрода в сварочную ванну зависит от состава металла, защитного газа, величины и направления тока. При высоких плотностях тока капельный перенос переходит в струйный. При этом увеличиваются давление дуги на сварочную ванну и глубина проплавления основного металла. При струйном переносе металла дуга стабильна; кроме того, улучшаются формирование и качество сварного шва.

Величина критического тока увеличивается с увеличением поверхностного натяжения расплавленного металла. Поверхностное натяжение в свою очередь можно изменять добавкой к аргону других газов: при добавке азота или водорода поверхностное натяжение и критический ток увеличиваются, а при добавке кислорода уменьшается.

Одним из основных параметров, который при сварке плавящимся электродом необходимо поддерживать посто-

янным, является длина дуги. Дуга горит стабильно при питании её от источников тока с жёсткой и возрастающей характеристикой.

Сварку плавящимся электродом в среде углекислого газа используют для соединения углеродистых и низколегированных сталей.

Плавящийся электрод представляет собой низколегированную сварочную проволоку сплошного сечения или порошковую проволоку. Сварку проволокой сплошного сечения ведут чаще всего постоянным током обратной полярности, так как при сварке током прямой полярности наряду с отмеченными недостатками наблюдается интенсивное образование пор в металле. При сварке порошковой проволокой можно использовать переменный ток, так как в её состав вводят вещества, стабилизирующие горение дуги. В связи с тем, что при защите сварочной ванны углекислым газом часть его, нагреваясь, диссоциирует с образованием окиси углерода и кислорода ($\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{O}$), активно окисляющего металл, в сварочную проволоку вводят раскислители — кремний и марганец. Применение проволоки диаметром 0,5...1,2 мм позволяет соединять на полуавтоматах и автоматах стыковые соединения металла толщиной от 0,8 до 3,0 мм, кольцевые швы на цилиндрических поверхностях, тавровые и угловые соединения.

Использование полуавтоматической сварки в углекислом газе по сравнению с ручной сваркой покрытыми электродами повышает производительность работы и обеспечивает лучшие условия труда.

3.2.5. Электрошлаковая сварка

Электрошлаковая сварка является процессом соединения металлов, в котором основной и электродный металлы расплавляются теплотой, выделяющейся при прохождении электрического тока через расплавленный слой шлака (флюса). Схема электрошлаковой сварки представлена

на рисунке 3.13. Процесс начинается с образования шлаковой ванны с помощью электрической дуги в пространстве между торцами свариваемых деталей 1 и приспособлениями (ползунами) 3, охлаждаемыми водой, которая подаётся по трубам. Расплавленный флюс 2 заполняет пространство между торцами деталей, шунтирует и гасит электрическую дугу, но подача проволоки и подвод тока продолжается. С этого момента электродуговая плавка металла переходит в электрошлаковый процесс.

При прохождении тока через расплавленный шлак, являющийся электропроводящим электролитом, в нём выделяется определённое количество теплоты, достаточной для поддержания высокой температуры шлака и расплавления кромок свариваемых деталей и электродной проволоки 6. Проволока подаётся в зазор, погружается в шлаковую ванну 2 с помощью мундштука 5, пополняет сварочную ванну 4 расплавленным металлом и одновременно является средством подвода тока. Как правило, электрошлаковую сварку выполняют при вертикальном положении свариваемых деталей. По мере заполнения зазора между ними мундштук для подачи проволоки и ползуны, препятствующие растеканию жидкой сварочной ванны в стороны, передвигаются в вертикальном направлении и оставляют после себя затвердевший сварочный шов 7. Ползуны в этом процессе по существу представляют собой кристаллизаторы металла.

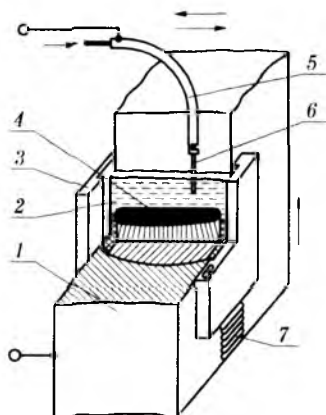


Рис. 3.13. Схема электрошлаковой сварки:
1 — свариваемая деталь;
2 — шлаковая ванна;
3 — ползун (кристаллизатор);
4 — сварочная ванна;
5 — мундштук; 6 — электрод;
7 — сварочный шов

В начальном и конечном участках шва образуются дефекты. В начале шва получается непровар кромок, в конце шва образуется усадочная раковина, а в структуре основного металла появляются неметаллические включения. Поэтому сварку начинают на подкладке или приставленных (вводных) нижних планках, а заканчивают после образования сварочной ванны между надставленными планками, которые затем удаляют газовой резкой.

Шлаковая ванна позволяет более равномерно распределять теплоту, которую выделяет электрическая дуга. Основной металл расплавляется одновременно по всему контуру шлаковой ванны, что позволяет вести сварку металла большой толщины за один проход.

По типу применяемого электрода различают сварку электродной проволокой, пластинчатым электродом и плавящимся мундштуком.

Сварка электродной проволокой. Эта сварка является основным способом применения электрошлаковой сварки для соединения деталей с прямолинейными и круговыми кромками толщиной до 600 мм. Заготовки толщиной до 150 мм можно сваривать одним электродом, совершающим поперечные колебания в зазоре для обеспечения равномерного разогрева шлаковой ванны по всей глубине. Металл толщиной более 150 мм сваривают тремя, а иногда и большим числом проволок, исходя из использования одного электрода на 45...60 мм толщины металла. Сварку проволокой ведут специальными автоматами, обеспечивающими подачу электродных проволок и их поперечное перемещение в зазоре. Автоматы перемещаются непосредственно по свариваемому изделию (безрельсовые) или по рельсовой колонне, устанавливаемой параллельно свариваемым кромкам. Скорость движения регулируется автоматически в зависимости от скорости заполнения зазора расплавленным металлом. Для сварки применяют проволоку диаметром 2...3 мм. В качестве источников питания для электрошлаковой сварки применяют специальные трансформаторы с

жёсткой внешней характеристикой. Сила сварочного тока составляет 750...1000 А.

Сварка пластинчатым электродом. Этим методом сваривают прямолинейные швы длиной не более 1,5 м. Толщина пластинчатого электрода составляет примерно $1/3$ ширины зазора, а длина соответственно в 3,5 раза больше длины шва. Во время сварки электрод опускается в шлаковую ванну специальным механизмом. Преимуществом этого метода является простота применяемой аппаратуры и повышенная устойчивость процесса сварки. К недостаткам следует отнести необходимость мощных источников питания, так как на каждый пластинчатый электрод требуется сила тока, равная 1500...2000 А.

Сварка плавящимся мундштуком. Сварка плавящимся мундштуком является комбинацией процессов сварки проволочными и пластинчатыми электродами: в зазор между свариваемыми изделиями вводят мундштук, остающийся в процессе сварки неподвижным. Плавящийся мундштук представляет собой неподвижную пластину с отверстиями для подачи электродной проволоки. Подбирая соответствующий химический состав проволоки и плавящегося мундштука, можно обеспечить заданный химический состав сварного шва. Этим методом сваривают прямолинейные швы на заготовках большой толщины (более 500 мм) и соединяют детали сложной формы. По мере подъёма жидкой ванны пластина плавится, добавляя в ванну расплавленный металл. Этот способ позволяет получить также швы сложного криволинейного профиля, так как мундштук обеспечивает равномерное распределение присадочного металла по сечению шва.

Электродшлаковая сварка имеет преимущества по сравнению с автоматической дуговой сваркой под слоем флюса. Она обеспечивает повышенную производительность вследствие непрерывности процесса сварки, выполняемой за один проход при любой толщине металла, увеличения сварочного тока в 1,5...2 раза, уменьшения расхода электродного

металла из-за отсутствия необходимости разделки кромок. Металл сварочного шва имеет лучшую структуру вследствие более однородного строения шва, отсутствия многослойности и шлаковых включений. На выполнение одного погонного метра сварочного шва требуются меньшие затраты (в 10 раз и более) за счёт повышенной производительности, уменьшения расхода флюса, электроэнергии, упрощения подготовки кромок свариваемых деталей.

К недостаткам электрошлаковой сварки следует отнести возможность образования крупнозернистой структуры шва и околошовной зоны вследствие замедленного нагрева и охлаждения сварочной ванны. После сварки необходима термическая обработка для получения мелкозернистой структуры металла сварного соединения.

Электрошлаковую сварку широко применяют в тяжёлом машиностроении для изготовления таких сварно-кованных и сварно-литых конструкций, как станины и детали мощных прессов и станков, коленчатые валы судовых дизелей, роторы и валы гидротурбин, котлы высокого давления и т.п. Толщина свариваемого металла может составлять 50...2000 мм.

В промышленности находит применение электрошлаковая наплавка. В отличие от обычной электрошлаковой сварки, при наплавке вместо двух применяется один формирующий ползун или кристаллизатор. Наплавка может производиться при вертикальном, нижнем и наклонном положениях наплавляемой поверхности.

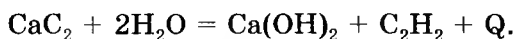
3.2.6. Газовая сварка

Газовой сваркой называется процесс получения неразъёмного соединения, заключающийся в нагреве и расплавлении газокислородным пламенем кромок свариваемых деталей и присадочного прутка, вносимого в пламя для заполнения межкромочного пространства вместе с основным расплавленным металлом и получения необходимого сечения шва.

Газовую сварку используют для соединения тонкостенных изделий из стали и сплавов цветных металлов.

В качестве горючих газов используют ацетилен C_2H_2 , водород, природный газ, нефтегаз, пары бензина и керосина, пропан, бутан и другие газы. Самую высокую температуру пламени ($3200\text{ }^{\circ}\text{C}$) обеспечивает ацетилен. Поэтому ацетиленокислородная сварка получила наибольшее распространение.

Ацетилен представляет собой горючий газ с теплотворной способностью 48 МДж/м^3 , который получают в специальных аппаратах — газогенераторах при взаимодействии воды с карбидом кальция. Реакция протекает со значительным выделением теплоты:



Ацетилен легче кислорода и воздуха. При содержании в воздухе $2,8...65\%$ C_2H_2 образуется взрывчатая смесь. Воспламеняется ацетилен при $420\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при сжатии свыше $0,175\text{ МПа/м}^2$ становится взрывоопасным. Самопроизвольно взрывается ацетилен при длительном контакте с медью и серебром. Он хорошо растворяется в ацетоне (в одном объёме ацетона при давлении $0,15\text{ МПа}$ растворяется 23 объёма ацетилена). Последнее свойство используют для безопасного хранения ацетилена в баллонах. Сварку ведут при непосредственном питании сварочной горелки ацетиленом, поступающим из генератора или ацетиленового баллона.

Ацетиленовые генераторы могут быть различных систем и размеров, их различают по способу взаимодействия воды и карбида кальция, по давлению выходящего газа, по производительности.

В зависимости от давления выходящего газа генераторы бывают низкого давления (до $0,01\text{ МПа}$) и среднего (до $0,15\text{ МПа}$). Ацетилен, поступающий из генератора, загрязнён вредными для процесса сварки примесями (фосфористым и сернистым водородом). Поэтому в генераторах предусматривают очистители, в которых находится

специальная очистительная масса, состоящая из инфузорной земли, пропитанной раствором натриевого хром-пика, и серной кислоты.

На пути следования газа к сварочной горелке устанавливают водяные или сухие многоканальные заторы, предотвращающие возможность проникновения ацетиленокислородного пламени в генератор при так называемом обратном ударе. Обратный удар возникает, когда скорость истечения газа становится меньше скорости его горения. Обратный удар возникает при перегреве грелки или при засорении выходного отверстия (сопла) горелки.

Получение ацетилена из генераторов связано с определёнными трудностями. Ацетиленовые генераторы взрывоопасны, нуждаются в специальном обслуживании, для них требуется специальное помещение. При работе одного-двух сварочных постов, а также в полевых условиях целесообразно использовать ацетилен в баллонах. Эти баллоны окрашивают в белый цвет и делают на них красной краской надпись «Ацетилен». Их конструкция представляет собой стальной цилиндр со сферическим днищем и горловиной с коническим резьбовым отверстием. В отверстие заворачивают запорный вентиль. На нижнюю часть баллона насаживают башмак, позволяющий ставить баллон вертикально. Хранение таких баллонов относительно безопасно. В баллоне газ хранится под давлением 1,5 МПа. С помощью ацетиленового редуктора давление газа, поступающего в горелку, понижают до рабочего. Ацетиленовый редуктор окрашивают в белый цвет в отличие от кислородного, который окрашивают в голубой цвет. Конструкция присоединительной части редукторов зависит от вида газа. Баллоны наполняют очищенным и осушенным ацетиленом на специальных наполнительных станциях. В баллоне ацетилен растворяется в ацетоне, который пропитывает пористую массу активированного угля.

Растворение ацетилена в ацетоне позволяет поместить в малом объёме угля большое количество ацетилена. Раство-

ренный в ацетоне ацетилен становится безопасным. Стоимость растворенного ацетилена выше, чем ацетилена, получаемого из газогенераторов на месте потребления, но его хорошее качество (чистота, отсутствие паров воды, высокое давление) существенно повышает производительность газовой сварки.

Газосварочные горелки используют для образования газосварочного пламени. Горелки по принципу подачи горючего газа в смесительную камеру делят на безинжекторные и инжекторные. В промышленности наиболее часто применяют инжекторные горелки, так как они более безопасны и работают с использованием газов низкого и среднего давления. На рисунке 3.14 показана схема инжекторной горелки. Кислород под давлением $0,1 \dots 0,4$ МПа поступает в горелку и через регулировочный вентиль и трубку 6 подаётся к инжектору 5. Выходя с большой скоростью из узкого канала инжекторного конуса, кислород создаёт значительное разрежение в камере 4 и засасывает горючий газ, поступающий через ниппель и вентиль 7 в ацетиленовые каналы горелки и в камеру смешения 3, где и образуется горючая смесь. Затем горючая смесь поступает по наконечнику 2 к мундштуку 1, на выходе из которого при сгорании образует сварочное пламя.

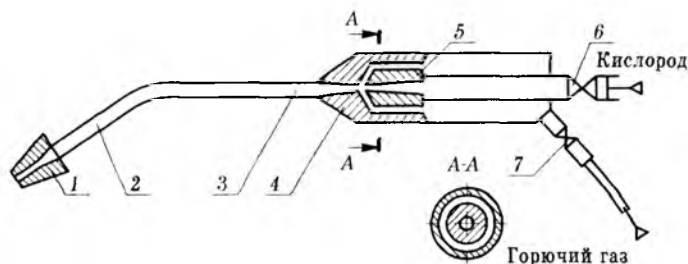


Рис. 3.14. Схема газосварочной инжекторной горелки:

- 1 — мундштук; 2 — наконечник;
- 3 — камера смешения; 4 — камера разрежения;
- 5 — инжектор; 6 — кислородная трубка;
- 7 — вентиль ацетиленовых каналов

Горелки этого типа имеют сменные наконечники с различными диаметрами выходных отверстий инжектора и мундштука, что позволяет регулировать мощность ацетилено-кислородного пламени. Обычно горелки имеют семь сменных номеров наконечников.

Газосварочное пламя образуется в результате сгорания ацетилена, смешиваемого в определённых пропорциях с кислородом в сварочных горелках. Ацетиленокислородное пламя состоит из трёх зон: ядра пламени 1, средней зоны 2 (сварочной), факела пламени 3 (l — длина). На рисунке 3.15 показано строение газосварочного пламени и распределение температуры вдоль его оси.

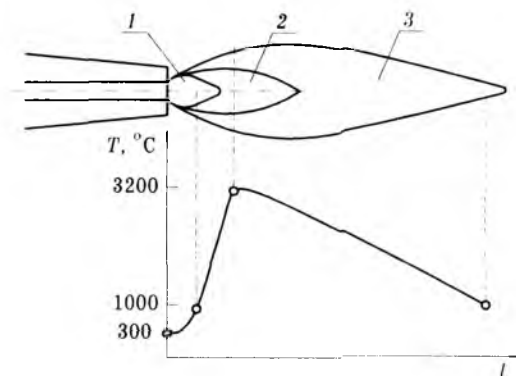
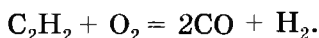


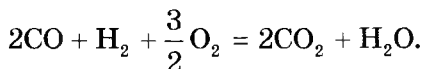
Рис. 3.15. Схема газосварочного пламени:
1 — ядро пламени; 2 — сварочная зона;
3 — факел пламени

В зоне 1 (ядре) происходит постепенный нагрев до температуры воспламенения газовой смеси, поступающей из мундштука; в зоне 2 протекает первая стадия сгорания ацетилена в кислороде, поступающего из баллона:



Зона 2, имеющая самую высокую температуру и обладающая восстановительными свойствами, называется сварочной или рабочей зоной.

В зоне 3 (факеле) протекает вторая стадия горения ацетилена за счёт атмосферного кислорода:



Углекислый газ и пары воды при высоких температурах окисляют железо, поэтому зону 3 называют окислительной. Газосварочное пламя называется нормальным, когда соотношение объёмов газов ($\text{O}_2:\text{C}_2\text{H}_2$) приблизительно равно 1. Нормальным пламенем сваривают большинство сталей. При увеличении содержания кислорода ($\text{O}_2:\text{C}_2\text{H}_2 > 1$) пламя приобретает голубоватый оттенок и ядро имеет форму заострённого язычка. Такое пламя обладает окислительными свойствами и может быть использовано только при сварке латуни. В этом случае избыточный кислород образует с цинком, содержащимся в латуни, тугоплавкие окислы, плёнка которых препятствует дальнейшему испарению цинка.

При увеличении содержания ацетилена ($\text{O}_2:\text{C}_2\text{H}_2 < 1$) пламя удлиняется и имеет красноватый оттенок, становится коптящим. Такое пламя называют науглероживающим и применяют для сварки чугуна и цветных металлов, так как в этом случае компенсируется выгорание углерода и восстанавливаются окислы цветных металлов.

Тепловую мощность газосварочного пламени, определяемую расходом ацетилена (в $\text{см}^3/\text{ч}$), определяют по эмпирической формуле:

$$P = A \cdot \delta,$$

где δ — толщина металла, мм;

A — коэффициент, определяемый опытным путём (для углеродистых сталей $A = 100$, для меди $A = 150$, для алюминия $A = 75 \text{ см}^3/(\text{ч} \cdot \text{мм})$).

Технология газовой сварки должна обеспечивать высокое качество сварочного шва. Получение качественного шва зависит от правильного подбора мощности горелки, вида сварочного пламени, способа сварки, угла наклона горелки.

ки, применения соответствующего присадочного материала и флюса.

Мощность сварочного пламени оценивают по расходу ацетилена, который вычисляют по формуле:

$$A = ks,$$

где s — толщина свариваемых кромок, мм;

k — коэффициент, определяемый экспериментально и зависящий от физико-химических свойств свариваемых металлов. Для нержавеющей стали $k = 70...80$; для углеродистых сталей, чугунов и сплавов алюминия $k = 10...120$; для меди $k = 160...200$.

По мощности пламени определяют номер наконечника сварочной горелки.

Диаметр присадочной проволоки d выбирают в соответствии с толщиной s основного металла. Для приближённого выбора диаметра присадочного прутка при $s < 10$ мм можно пользоваться эмпирической формулой:

$$d = 0,5s + 1.$$

При $s > 10$ мм диаметр присадочного прутка принимают равным 5 мм. Применение многопламенных горелок с несколькими мундштуками повышает производительность сварки и улучшает качество шва.

Мощность горелки зависит от толщины и теплопроводности свариваемого металла: Для сварки металла с высокой теплопроводностью требуется наконечник с большим расходом газа.

Свариваемый участок предварительно нагревается пламенем горелки до образования сварочной ванны. После этого в жидкую ванну вводят конец присадочной проволоки, которая, расплавляясь, образует шов. Газовой сваркой можно выполнять швы в любом положении. Наиболее рациональным способом газовой сварки является соединение в стык. При этом сталь толщиной до 2 мм сваривают с отбортовкой кромок без присадочного материала. При большей толщине металла производят одно- или двустороннюю разделку кромок.

При толщине металла до 3 мм применяют левую сварку (рис. 3.16, а), при которой горелка движется справа налево. Присадочный пруток 1 находится слева от горелки 2 и передвигается впереди пламени.

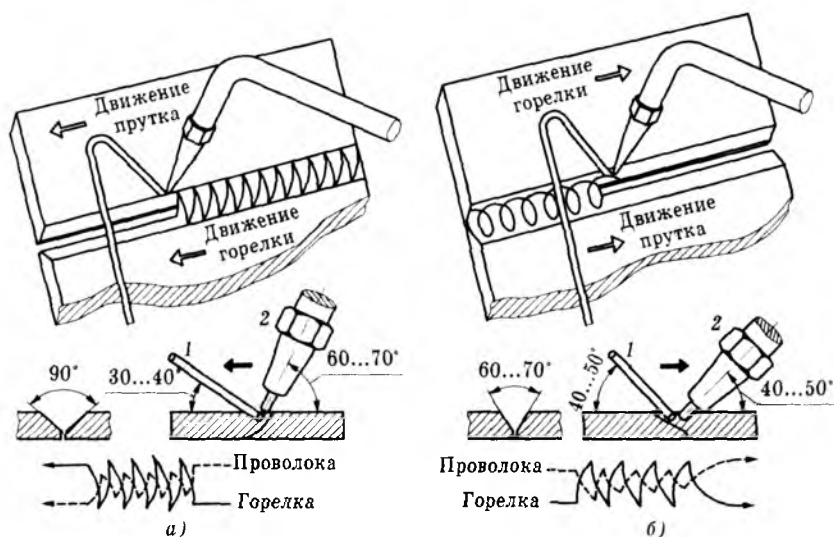


Рис. 3.16. Способы сварки:
а — левая; б — правая; 1 — пруток; 2 — горелка

При толщине металла более 5 мм применяют правую сварку (рис. 3.16, б), когда горелка 2 движется впереди сварочной проволоки 1 вправо. Правая сварка увеличивает производительность на 20...25 % и обеспечивает меньший расход ацетилена (на 15...25 %).

Угол наклона горелки к свариваемой поверхности зависит от толщины металла. При увеличении толщины металла в месте сварки должна быть большая концентрация тепла и, соответственно, больший угол наклона горелки.

Горизонтальные и потолочные швы обычно выполняют, пользуясь правым способом сварки, обеспечивающим глубокое проплавление, а вертикальные швы ведут левым способом снизу вверх. При таком способе сварки предотв-

ращается стекание металла из сварочной ванны. При газовой сварке в качестве присадочного материала применяют проволоку или прутки, близкие по химическому составу к металлу свариваемых деталей.

Применение флюсов улучшает качество сварочного шва, так как они защищают его от окисления.

3.2.7. Лучевые способы сварки плавлением

К лучевым методам соединения деталей относят электронно-лучевую, лазерную и световую способы сварки. Наибольшее распространение из них получила электронно-лучевая сварка.

Электронно-лучевая сварка. Электронный луч представляет собой поток сжатых электронов, перемещающихся в вакууме с большой скоростью от катода к аноду под действием сильного электрического поля. При встрече электронного потока с твёрдым телом более 99 % кинетической энергии электронов переходит в тепловую, которая используется для расплавления металла. В месте контакта электронного луча с поверхностью металла температура может достигать 5000...6000 °С.

Установка для электронно-лучевой сварки представляет собой вакуумную камеру, внутри которой размещают свариваемые детали, устройства для приведения в движение свариваемых заготовок и электронно-лучевая пушка для излучения электронов. Электронный пучок образуется эмиссией электронов при нагреве в вакууме катода пушки. Электроны ускоряются под действием разности потенциалов между катодом и анодом, равной от 20...30 до 100...150 кВ и выше, затем формируются и фокусируются с помощью электродов, электростатических и электромагнитных линз и в виде сжатого луча направляются специальной отклоняющей магнитной системой на обрабатываемое изделие. Фокусировкой достигается высокая удельная мощность (до 15...50 кВт/см² и выше). Ток электронного луча неве-

лик (от нескольких миллиампер до единиц ампер). При перемещении заготовки под неподвижным или подвижным лучом образуется сварной шов. Шов можно формировать путём перемещения самого луча вдоль неподвижных кромок с помощью отклоняющих систем. Отклоняющие системы используют также и для колебаний электронного луча поперёк или вдоль шва, что позволяет проводить сварку с использованием присадочного металла и регулировать воздействие тепла на металл.

В современных установках для сварки, сверления, резки или фрезерования электронный луч фокусируется на площади диаметром менее 0,001 см, что позволяет получить большую удельную мощность.

При использовании электрической дуги или газового пламени в качестве источника тепла металл нагревают и плавят за счёт распространения теплоты от поверхности в глубину, при этом форма сварочной ванны будет представлять срезанный наружной поверхностью детали сфероид. При сварке же электронным лучом теплота выделяется непосредственно в самом металле, причём наиболее интенсивно на некоторой глубине под его поверхностью. Отношение глубины проплавления к ширине может достигать 20:1. Такое проплавление называют кинжальным (рис. 3.17).

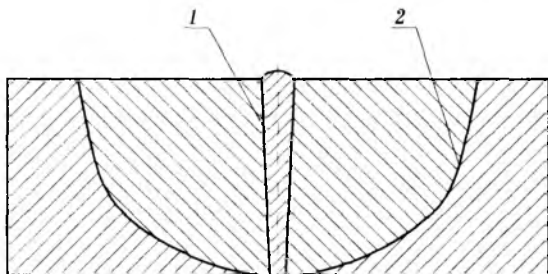


Рис. 3.17. Кинжальное проплавление металла электронным лучом:

- 1 — граница зоны проплавления электронным лучом;
2 — граница зоны расплавления при использовании дуги или газового пламени

Часть электронного луча может выходить со стороны корня шва в виде сфокусированного пучка, вследствие чего могут быть одновременно сварены детали, расположенные ниже. Высокая концентрация теплоты в пятне нагрева позволяет сверлить такие материалы, как сапфир, рубин, алмаз, твёрдое стекло. Незначительная ширина зоны теплового воздействия даёт возможность резко уменьшить деформацию заготовок. Кроме того, при электронно-лучевой сварке обеспечивается зеркальная поверхность соединения.

Электронно-лучевой сваркой изготавливают детали из тугоплавких химически активных металлов и их сплавов (вольфрамовых, танталовых, ниобиевых, циркониевых, молибденовых и т.п.), а также из высоколегированных сталей. Металлы и сплавы можно сваривать в однородных и разнородных сочетаниях, со значительной разницей толщин, температур плавления и других теплофизических свойств. Минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм, максимальная — до 100 мм.

Электронно-лучевой сваркой можно соединять малогабаритные изделия, применяемые в электронике и приборостроении, и крупногабаритные изделия длиной и диаметром в несколько метров.

В настоящее время в промышленности используют установки для электронно-лучевой сварки разных конструкций. Конструкции электронно-лучевых пушек, устанавливаемых в вакуумных камерах установок, позволяют сваривать как электропроводные, так и неэлектропроводные материалы.

К недостаткам электронно-лучевой сварки следует отнести сравнительно высокую стоимость оборудования, ограничение размеров изделия размерами вакуумной камеры, невысокую производительность, связанную с затратами времени на подготовку процесса сварки, необходимость защиты работающего персонала от вредного воздействия рентгеновского излучения, возникающего при торможении электронного пучка свариваемой деталью.

Несмотря на эти недостатки, данный вид сварки развивается и совершенствуется с целью сокращения подготовительного времени: используются вакуумные камеры со шлюзовыми устройствами для загрузки и выгрузки изделий, а также другие устройства и наладки. Непрерывное совершенствование оборудования позволяет рационально использовать преимущества электронно-лучевой сварки.

Лазерная сварка. Лазерная сварка — сварка плавлением, при которой используется энергия монохроматического светового излучения, полученного от оптического квантового генератора (ОКГ). С помощью ОКГ можно получать интенсивные и остронаправленные пучки света с высокой плотностью энергии.

В основу принципа действия ОКГ положено индуцированное излучение атомов активного вещества излучателя. Активное вещество накачивают внешней энергией (электрической, световой, тепловой, химической). Атомы поглощают фотоны (порции) электромагнитной энергии и переходят в возбуждённое состояние. Каждый возбуждённый атом может возратить энергию в виде фотона спонтанно (самопроизвольно). Заставить все возбуждённые атомы одновременно испустить фотоны можно внешним фотоном, энергия которого в точности равна энергии испускаемого фотона. Такое излучение называется индуцированным.

В некоторых ОКГ в качестве основного энергетического элемента используется рубин — оксид алюминия, в котором небольшое число атомов (0,05 %) алюминия замещены атомами хрома. Кристалл рубина обрабатывают в виде стержня с полированными и посеребрёнными горцами. Рубиновый стержень помещают вблизи лампы-вспышки, служащей для оптической накачки энергии. При освещении лампой большинство атомов хрома переводится в возбуждённое состояние. Когда интенсивность света от лампы превышает некоторый критический уровень, проявляется эффект квантового усиления. Излучение возбуждённым атомом фотона побуждает другой возбуждённый атом испус-

тить фотон (индуцированный). Этот процесс развивается лавинообразно, так как фотоны, отражаясь от торцов кристалла, двигаются в кристалле в осевом направлении. Из полупрозрачного торца рубина в течение тысячных долей секунды выбрасываются импульсы интенсивного потока фотонов с длиной волны $69,43 \cdot 10^{-10}$ м. Выходной пучок является узконаправленным, мощным, монохроматическим.

По виду активного вещества-излучателя лазеры разделяют на твёрдые, жидкостные, газовые и полупроводниковые, а по принципу генерации лазерного луча — импульсные и непрерывные. В настоящее время для сварки используют твердотельные и газовые лазеры. Газовые лазеры обладают более высокой выходной мощностью и работают в непрерывном и импульсном режимах.

Пучок света, испускаемый излучателем, можно с помощью оптических систем передавать на большие расстояния, поворачивать и фокусировать. Возможность получать высокую плотность энергии в пятне нагрева, точно дозировать энергию составляет преимущество лазерной технологии перед другими способами. Лазерная технология открывает такие возможности, как, например, сварку через прозрачные среды, так как для световых лучей они не являются преградой. Малая длительность термического цикла сварки позволяет получать качественные соединения на ряде материалов, особо чувствительных к длительному воздействию теплоты.

Главными областями применения лазерной технологии является сварка в микроэлектронике, радиоэлектронике, приборостроении. Особенностью лазерной технологии является возможность соединять как однородные, так и разнородные материалы (золото — германий, золото — кремний, никель — тантал и др.) на воздухе, в защитной атмосфере, в вакууме.

Использование углекислотных лазеров непрерывного действия даёт возможность получить соединения деталей толщиной до 15 мм. Высокая плотность энергии луча обеспечивает преимущества, характерные для электронно-лучевой сварки, но без применения вакуумных камер.

В отличие от лазерной сварки в установках для сварки и пайки световым лучом (полихроматическим) используют мощные источники излучения, свет от которых фокусируется специальными линзами и отражателями в пятне нагрева. Для технологических целей наиболее удобны в применении излучатели дуговые и ксеноновые лампы сверхвысокого давления (до 1 МПа). Плотность энергии в пятне нагрева в установках для сварки световым лучом достигает 10^3 Вт/см². Область рационального применения — приборостроение.

3.3. Способы сварки давлением

3.3.1. Механизм сварки давлением

Всем способам сварки давлением присуще пластическое деформирование в зоне соединения деталей. Пластическое деформирование здесь может осуществляться с нагревом и без нагрева. Электроконтактная сварка представляет собой процесс соединения деталей нагревом их в месте контакта до пластического или жидкого состояния с применением одновременного или последующего сильного сжатия (осадки), обеспечивающего взаимодействие атомов металла.

Контактная сварка является одним из высокопроизводительных способов сварки. Она легко поддается механизации и автоматизации. Место соединения деталей разогревается проходящим по металлу электрическим током, причём максимальное количество теплоты выделяется в месте контакта. Количество выделяемой теплоты определяется законом Джоуля-Ленца:

$$Q = 0,24 I^2 R t,$$

где Q — количество теплоты, выделяемое в сварочном контуре, Дж;

I — сила сварочного тока, А;

R — полное сопротивление сварочного контура, Ом;

t — время протекания тока, с.

Полное сопротивление сварочного контура R состоит из сопротивления концов свариваемых деталей $R_{\text{заг}}$, по которым проходит сварочный ток, сопротивления сварочного контакта $R_{\text{к}}$ и сопротивления между электродами и заготовками $R_{\text{эл}}$:

$$R \approx R_{\text{заг}} + R_{\text{к}} + R_{\text{эл}}.$$

Из трёх составляющих полного сопротивления R наибольшую величину имеет сопротивление сварочного контакта $R_{\text{к}}$, так как поверхности контакта заготовок имеют микронеровности, вследствие чего контакт представляет собой точечные соприкосновения поверхностей. Кроме того, соприкасающиеся поверхности соединяемых деталей имеют окисные плёнки и различного рода загрязнения, которые увеличивают электрическое сопротивление в точке контакта. В результате действительное сечение металла, через которое проходит ток, будет меньше, чем полная площадь контакта деталей. Это приводит к увеличению плотности тока в реальных точках соприкосновения и к нагреву металла в точках контакта до термопластического состояния или до оплавления. При непрерывном сдавливании нагретых концов заготовок образуются новые точки соприкосновения, и так до тех пор пока не наступит полное сближение соединяемых деталей до возникновения межатомных взаимодействий на расстоянии параметра кристаллической решётки металла, т.е. произойдёт сварка поверхностей деталей.

Контактную сварку классифицируют по типу сварного соединения, определяющего вид сварочного оборудования, и по характеру тока, питающего сварочный трансформатор. По типу сварного соединения различают сварку стыковую, точечную, рельефную и шовную (роликовую).

3.3.2. Стыковая сварка

Стыковая сварка представляет собой вид контактной сварки, при котором сварку заготовок осуществляют по всей поверхности соприкосновения. Свариваемые заготовки зак-

репляются в зажимах (электродах) стыковой машины, которые соединены со сварочным трансформатором. Детали сближаются и сжимаются с помощью механизма осадки стыковой машины. Сварку ведут двумя способами. По первому способу детали приводят в соприкосновение, включают ток для разогрева зоны стыка до пластического состояния и осуществляют осадку деталей их деформированием, т.е. дальнейшим сближением деталей навстречу друг другу. Данный способ называют сваркой сопротивлением. По второму способу разогрев соприкасающихся торцов деталей ведут до оплавления с последующей осадкой. Данный способ называют сваркой оплавлением.

Для правильного формирования сварного соединения необходимо, чтобы процесс протекал в определённой последовательности. Совместное графическое изображение тока и силы сжатия заготовок, изменяющихся в процессе сварки называют нормальным циклом контактной машины.

Стыковая сварка сопротивлением. Цикл контактной стыковой сварки методом сопротивления представлен на рисунке 3.18. Перед сваркой заготовки очищают от окисных плёнок, а их торцы плотно пригоняют друг к другу. Для подгонки применяют механическую обработку торцов.

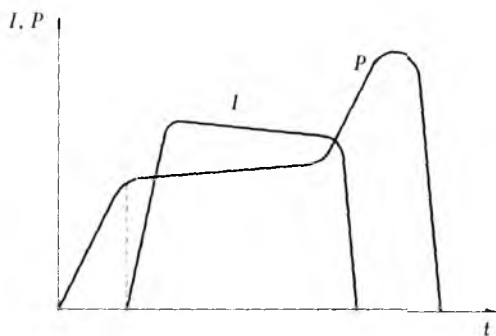


Рис. 3.18. Цикл изменения параметров контактной стыковой сварки сопротивлением:

I — сила сварочного тока;
 P — усилие сжатия торцов

Заготовки, закреплённые в специальных зажимах, сдавливаются небольшим усилием, затем включается ток, металл разогревается до пластического состояния, затем осаживается. Металл частично выдавливается по периметру шва, образуя кольцевой выступ. Параметрами режима контактной сварки являются плотность тока, усилие сжатия торцов заготовок и время протекания тока. Это время определяют косвенно по величине осадки, зависящую от установочной длины. Установочной длиной называют расстояние от торца заготовки до внутреннего края электрода стыковой машины, измеренное до начала сварки. Установочная длина зависит от теплофизических свойств металла, конфигурации стыка и размеров заготовки.

Сечения соединяемых заготовок должны быть одинаковыми по форме с малоразвитым периметром (круг, квадрат, прямоугольник с малым отношением перпендикулярных сторон). Металл соединяемых заготовок должен быть однородным. Сварка сопротивлением даёт хорошие результаты для металлов, обладающих хорошей свариваемостью в пластическом состоянии. Этим методом можно сваривать низкоуглеродистые, низколегированные конструкционные стали, алюминиевые и медные сплавы.

Стыковой сваркой соединяют, например хвостовики и рабочие части инструмента для обработки отверстий большого диаметра (свёрла, зенкеры).

Стыковая сварка оплавлением. Этот способ сварки имеет две разновидности: непрерывное и прерывистое оплавление.

При непрерывном оплавлении между заготовками, установленными в зажимах машины, оставляют зазор, подают напряжение на заготовки и равномерно сближают их до соприкосновения отдельными площадками, а затем всей площадью торцов деталей. В этот промежуток времени расплавленный и кипящий металл под действием электромагнитного поля выбрасывается наружу. После достижения равномерного оплавления всей поверхности стыка произ-

водят осадку. Цикл сварки непрерывным оплавлением показан на рисунке 3.19.

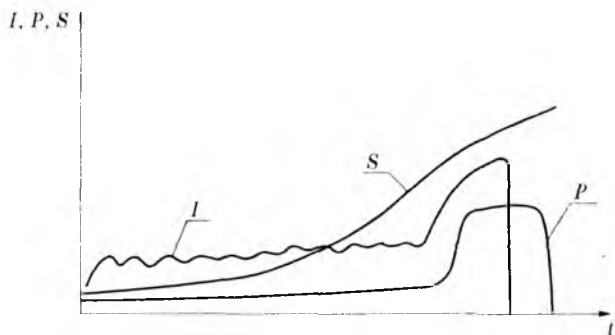


Рис. 3.19. Цикл изменения параметров контактной стыковой сварки оплавлением:
 I — сила сварочного тока; S — перемещение торца детали при сжатии; P — усилие сжатия

При прерывистом оплавлении зажатые заготовки сближают под напряжением, приводят их в кратковременное соприкосновение и вновь разъединяют на небольшое расстояние. Быстро повторяя следующие одни за другими сближения и разъединения, выполняют оплавление всего сечения. Затем выключают ток и осаживают заготовку. Под давлением часть расплавленного металла вместе с окислами выдавливается из зоны сварки, образуя грат. После остывания стыка грат легко удаляется.

Сварка оплавлением имеет преимущества перед сваркой сопротивлением. В процессе оплавления выравниваются все выступы и неровности стыка, а окислы и загрязнения сгорают и удаляются вместе с металлом, не требуется особой подготовки места соединения. Можно сваривать заготовки с сечением сложной формы, а также заготовки с различными сечениями, разнородные металлы (быстрорежущую и углеродистую стали, медь, алюминий и т.д.). Наиболее типичными изделиями, изготавливаемыми стыковой сваркой, являются элементы трубчатых конструкций, колёса и кольца, инструмент, рельсы, железобетонная аппаратура.

3.3.3. Точечная сварка

Точечная сварка — вид контактной сварки, при которой заготовки соединяются в отдельных точках, причём одновременно можно соединять детали одной, двумя или несколькими точками. Положение сварочных точек определяется расположением электродов точечной машины. При точечной сварке заготовки собирают внахлёстку и зажимают с некоторым усилием P между двумя медными электродами, подводящими ток к месту сварки (рис. 3.20).

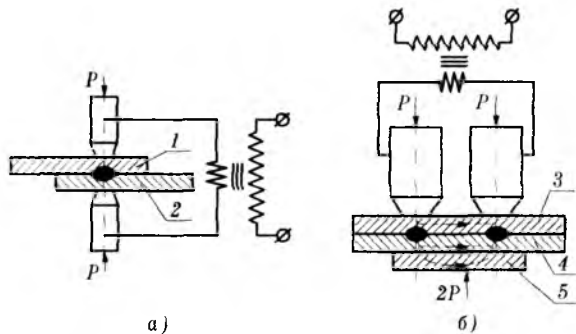


Рис. 3.20. Схема двухсторонней (а) и односторонней (б) контактной точечной сварки:
1, 3 — верхние заготовки; 2, 4 — нижние заготовки;
5 — медная подкладка

Соприкасающиеся с медным электродом поверхности свариваемых заготовок нагреваются медленнее, чем их внутренние слои. Нагрев продолжают до пластического состояния внешних слоёв и расплавления внутренних слоёв, где образуется локальный объём расплавленного металла между поверхностями соединяемых деталей. Затем ток выключают и спустя некоторое время прекращают сжатие деталей. В результате этих действий образуется литая сварочная точка. В зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым заготовкам различают двухстороннюю и одностороннюю сварку. При двусторонней сварке

(рис. 3.20, а) две или большее число заготовок 1 и 2 сжимают между электродами точечной машины. При односторонней сварке (рис. 3.20, б) ток распределяется между верхним и нижним листами 3 и 4, причём нагрев осуществляется частью тока, протекающего через нижний лист. Для увеличения тока, проходящего через нижний лист, предусмотрена медная подкладка 5. Односторонней сваркой можно соединять заготовки одновременно двумя точками. Параметрами режима точечной сварки являются: усилие сжатия P в Н/м², плотность тока i в А/м² и время протекания тока t в с. Медные электроды при интенсивной сварке изготавливают водоохлаждаемыми.

На рисунке 3.21 показана циклограмма изменения параметров точечной сварки.

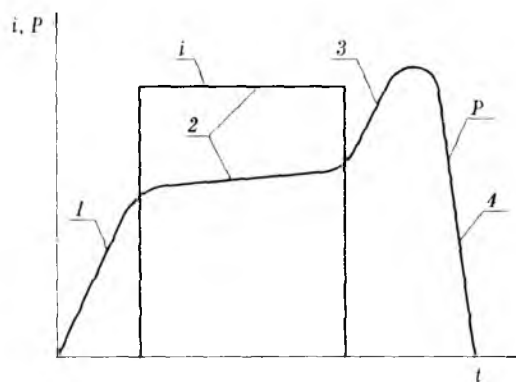


Рис. 3.21. Цикл изменения параметров контактной сварки для одной точки:

- 1 — сжатие свариваемых заготовок; 2 — включение тока и разогрев места контакта до температуры плавления; 3 — выключение тока и увеличения усилия сжатия для улучшения структуры металла сварной точки; 4 — снятие усилия сжатия

Весь цикл сварки состоит из четырёх стадий: 1 — сжатие свариваемых заготовок между электродами; 2 — включение тока и разогрев места контакта до температуры плавления, сопровождающийся образованием литого ядра точ-

ки; 3 — выключение тока и увеличение усилия сжатия для улучшения структуры сварочной точки; 4 — снятие усилия сжатия.

Перед сваркой место соединения очищают от окисных плёнок (абразивным кругом или травлением).

Точечную сварку выполняют на мягких и жёстких режимах. Мягкие режимы характеризуются большей продолжительностью времени сварки, плавным нагревом, уменьшенной мощностью. На них сваривают углеродистые, низколегированные стали и стали, склонные к закалке. Основные параметры мягких режимов: плотность тока $80\ldots 160\text{ А/мм}^2$, усилие на электродах $15\ldots 40\text{ МН/м}^2$ и время протекания тока $0,5\ldots 3,0\text{ с}$.

Жёсткие режимы характеризуются повышенной производительностью в связи с уменьшением времени сварки, увеличением усилия сжатия и концентрированным нагревом. Эти режимы применяют при сварке ультратонкого металла толщиной до $0,1\text{ мм}$, коррозионностойких сталей, так как при использовании для этого мягких режимов возможно выпадение карбидов хрома в околошовной зоне, что ведёт к потере коррозионной стойкости. При сварке алюминиевых и медных сплавов целесообразно применение только жёстких режимов из-за их высокой теплопроводности и недопустимости перегрева околошовной зоны.

Параметры жёстких режимов: $120\ldots 360\text{ А/мм}^2$, усилие на электродах $4\ldots 150\text{ МН/м}^2$ и время протекания тока $0,00\ldots 0,01\text{ с}$.

Рельефная сварка. Этот вид сварки является разновидностью точечной сварки. На одном из соединяемых листов заранее в штампах выдавливают выступы в местах, подлежащих сварке. Эти выступы создают точечные контакты по всей соединяемой поверхности. Соединяемые листы закладывают в пресс, подводят ток, металл в точках контакта расплавляется, выступы деформируются и образуется плотное беззачерное соединение заготовок. Способ является высокопроизводительным, но требует значи-

тельного потребления мощности из-за одновременного сваривания точек.

Шовная (роликовая) сварка. Этот вид сварки представляет собой, как и предыдущий способ, вид точечной сварки. Вместо стержневых электродов, к которым присоединяют источник тока, устанавливают один или два ролика в зависимости от их расположения по отношению к свариваемым заготовкам, т.е. при двустороннем или одностороннем расположении роликов по отношению к заготовкам. Свариваемые заготовки соединяют внахлёстку между электродами или между электродами и медной подкладкой и пропускают между вращающимися роликами. Вследствие этого сварочные точки между заготовками располагаются в ряд, перекрывая друг друга, и образуют непрерывный шов свариваемых деталей.

Шовную сварку ведут при непрерывном пропускании тока, с прерывистым пропусканием тока и с прерывистым вращением роликов.

Для сварки коротких швов и сплавов, не склонных к росту зерна и не претерпевающих заметных структурных превращений при перегреве, применяют непрерывное включение тока. Последний вид сварки применяется редко. Он заключается в пропускании тока через соединённые заготовки в момент остановки роликов.

Контактная сварка основана на потреблении кратковременных, но больших мощностей в момент сварки, что создаёт большие затруднения для функционирования электрической сети. Такого недостатка лишена сварка аккумулированной энергией. Данный вид сварки потребляет энергию, накопленную в каком-либо приёмнике, а затем непосредственно или через сварочный трансформатор кратковременно расходуется на сварочные операции.

Разработаны четыре вида сварки аккумулированной энергией: конденсаторная (электростатическая), электромагнитная, инерционная и аккумуляторная. Накопление энергии происходит соответственно в батареях конденсаторов, в

магнитном поле специального сварочного трансформатора, во вращающихся частях генератора или в аккумуляторной батарее.

Конденсаторная сварка получила наибольшее применение. Энергия в конденсаторах накапливается при их зарядке от источника постоянного тока (генератора или выпрямителя), а затем в процессе разрядки используется для сварки. Накопленную в конденсаторах энергию можно регулировать изменением ёмкости или напряжения на конденсаторе. Механизм конденсаторной сварки позволяет точно дозировать количество энергии, не зависящее от внешних условий, например от напряжения в сети. Малое время протекания тока (тысячные и десятитысячные доли секунды) при высокой плотности тока позволяет сваривать материалы очень небольшой толщины (несколько микрон) и обеспечивать малые размеры зоны термического влияния. Потребляемая мощность сравнительно невысока и составляет от 0,2 до 2 кВт.

Существуют два вида конденсаторной сварки: бестрансформаторная и трансформаторная. Первый вид предусматривает подключение конденсатора непосредственно к свариваемым заготовкам. Разряд конденсатора происходит в момент столкновения заготовок. Оборудование для конденсаторной сварки предусматривает перемещение одной из заготовок при неподвижном закреплении другой. Разряд оплавляет торцы заготовок, которые свариваются под действием сжимающего усилия осадки. При трансформаторной конденсаторной сварке конденсатор разряжается на первичную обмотку сварочного трансформатора, ко вторичной обмотке которого присоединены предварительно сжатые заготовки. Бестрансформаторная сварка используется чаще всего для стыковой сварки заготовок, трансформаторная — для точечной и шовной.

Конденсаторная сварка находит применение в производстве электроизмерительных и авиационных приборов, часовых механизмов, радиоаппаратуры и электронной техники.

3.3.4. Специальные способы сварки

Холодная сварка. Холодную сварку выполняют без нагрева на воздухе при комнатной и даже при отрицательной температуре. Физическая сущность процесса заключается в совместном деформировании свариваемых заготовок до образования между ними общих металлических связей и, следовательно, в получении прочных соединений. Такое соединение достигается приложением больших удельных давлений в зоне сварки, которые обеспечивают разрыв плёнки окислов на свариваемых поверхностях и образование чистых поверхностей металла. Для облегчения процесса холодной сварки и получения высококачественного соединения, соединяемые поверхности очищают от адсорбированных масляных плёнок.

Холодной сваркой получают точечные, шовные и стыковые соединения. На рисунке 3.22, *а* представлена схема процесса холодной точечной сварки. Свариваемые заготовки 1 с тщательно зачищённой поверхностью 4 в месте соединения помещают между пуансонами 3, имеющими выступы 2. При сжатии пуансонов усилием P выступы 2 вдавливаются в металл на всю их высоту до тех пор, пока торцовые поверхности 5 пуансонов не упрутся в наружную поверхность свариваемых заготовок. Форма сварочной точки зависит от формы выступа в пуансоне.

При стыковой холодной сварке соединяемые заготовки 7 закрепляют в зажимах 6, имеющих общую ось (рис. 3.22, *б*). При осадке правый и левый зажимы сближают до смыкания, и тогда острый край конической части зажима отрезает излишний выдавленный металл — грат. В процессе осадки сближающиеся зажимы затрудняют деформирование металла и позволяют увеличить сжимающее давление. Деформируемый металл заполняет впадины насечки 8, которая предотвращает смещение заготовки в зажимах. Рассматриваемым методом сваривают стержни и проволоку круглого, квадратного и прямоугольного сечений. Поверхность сва-

точного шва получается чистой и не требует последующей обработки.

Непрерывное шовное соединение может быть получено за счёт одновременного сдавливания контактируемых частей заготовок по всему периметру соединения или с помощью последовательного перемещения вдавливающего ролика. Швы, образующие замкнутый контур небольшой длины в виде кольца, прямоугольника и т.п., получают контурной сваркой. На рисунке 3.22, в дана схема сварки полых деталей по контуру их отбортовок. Пуансоны 9 и 10 центрируются с помощью корпуса 11.

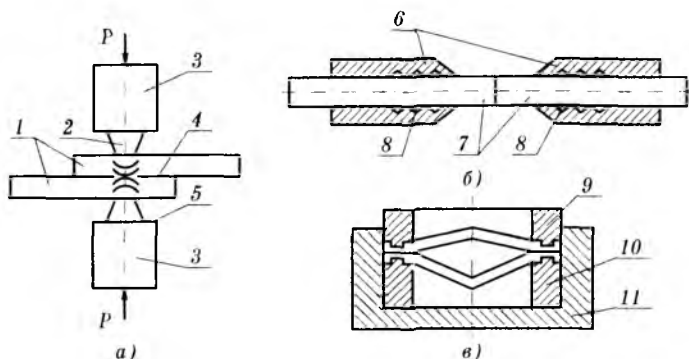


Рис. 3.22. Схемы холодной сварки:

а — точечная сварка; б — стыковая сварка; в — контурная сварка;

1 — свариваемые заготовки; 2 — выступы;

3, 9, 10 — пуансоны; 4 — соединяемые поверхности;

5 — торцовые поверхности; 6 — зажимы;

7 — соединяемые заготовки; 8 — насечки; 11 — корпус

Для холодной шовной сварки кроме пуансонов для контурной сварки применяют специальные ролики.

Холодной сваркой соединяют заготовки толщиной от 0,2 мм до 15 мм. Удельные давления, зависящие от состава и толщины свариваемого материала, в процессе сварки могут достигать значений от 150 МН/м² до 1000 МН/м².

Холодной сваркой в основном сваривают металлы и сплавы, обладающие высокой пластичностью при комнат-

ной температуре, с крупнозернистой отожжённой структурой.

В заготовках из недостаточно пластичных металлов при больших деформациях могут образовываться трещины. Высокопрочные металлы и сплавы холодной сваркой не сваривают, так как для этого требуются очень большие удельные давления, которые практически трудно достигнуть. Холодная сварка применяется для соединения как одноимённых металлов (Pb, Al, Cu, Sn, Ag, Au, In) и сплавов, так и разнородных металлов (например, армирование алюминиевых проводов медными наконечниками). Её применяют при изготовлении бытовых приборов из алюминия, корпусов полупроводниковых приборов, в электромонтажном производстве и т.д.

Термокомпрессионная сварка. Рассматриваемый способ сварки является разновидностью холодной сварки, причём в отличие от неё соединяемые части заготовок нагревают до температуры ниже температуры образования эвтектики соединяемых материалов, а затем их сжимают.

Сваривают за счёт обеспечения пластического деформирования, аналогичной деформации при холодной сварке. На качество соединения при термокомпрессионной сварке влияет окисленность поверхностей, поэтому целесообразно сваривать заготовки в защитной атмосфере (аргоне, смеси аргона с азотом и т.п.).

Термокомпрессионной сваркой сваривают высокоэлектропроводные материалы в виде круглых и плоских проводников с электропроводными тонкими плёнками, нанесёнными на хрупкие диэлектрические подложки.

Процесс сварки отличается хорошей стабильностью и лёгкой контролируемостью. Основными параметрами являются усилие сжатия, температура нагрева и продолжительность выдержки. Оборудование для сварки является очень простым и состоит из рабочего столика и рабочего инструмента (пуансона). Необходимый нагрев при сварке обеспечивается предварительным нагревом рабочего инст-

румента или столика. Процесс сварки не требует использования флюсов и припоев.

К недостаткам этого способа следует отнести ограниченность использования сочетаний свариваемых материалов и возможность соединения деталей небольших размеров. Применяют этот способ в основном в приборостроительной промышленности.

Сварка трением. Сварка трением представляет процесс, в котором используется на разных стадиях давление, кратковременный нагрев и перемещение свариваемых поверхностей относительно друг друга.

Сварка трением происходит в твёрдом состоянии при скольжении двух твёрдых тел, сжатых силой P , относительно друг друга. Силами трения инициируется разрушение окисных плёнок и включений, покрывающих поверхность соединяемых заготовок. Одновременно с процессом разрушения поверхностных слоёв происходит преобразование механической энергии в тепловую.

Трение поверхностей осуществляется вращением или возвратно-поступательным перемещением сжимаемых силой P свариваемых заготовок относительно друг друга. В результате нагрева и сжатия возникает пластическая деформация в соединяемых частях. Сварное соединение образуется в результате установления металлических связей в зоне контактирования поверхностей свариваемых заготовок.

Основными параметрами сварки трением являются скорость относительного перемещения свариваемых поверхностей, продолжительность нагрева, удельное давление в зоне контакта заготовок, пластическая деформация заготовок в зоне контакта, т.е. осадка. Необходимый для сварки нагрев при прочих равных условиях обусловлен скоростью вращения и осевым усилием. Для обеспечения качественного соединения необходимо практически мгновенное прекращение движения заготовки. Кроме того для получения качественного соединения необходимо приложение в конце процесса дополнительного давления (проковки).

Параметры режима сварки трением зависят от свойств металла заготовки, площади поперечного сечения и конструкции изделия. Сваркой трением соединяют однородные и разнородные металлы, сплавы с различными свойствами, например медь со сталью, медь со сплавом ковар (сплав на основе железа, никеля и кобальта), медь с алюминием, алюминий с титаном и др. Соединение получают с достаточно высокими механическими свойствами. В промышленности сварку трением применяют при изготовлении крупноразмерного режущего инструмента, различных валов, штоков с поршнями, пуансонов и т.п. При сварке трением по сравнению с контактной стыковой сваркой снижаются затраты энергии и требуемые мощности оборудования. При сварке стали трением расход энергии составляет величину в 5-10 раз меньше, чем при контактной сварке.

Оборудование для сварки трением имеет особенность производить быстрый запуск процесса сварки и осуществлять мгновенную остановку шпинделя машины. Вследствие этого это оборудование имеет достаточно высокую прочность для восприятия и гашения значительных радиальных вибраций.

В виде исключения после соответствующей реконструкции для сварки трением используют обычные металлорежущие станки (токарные, фрезерные, сверлильные).

Ультразвуковая сварка. При сварке ультразвуком неразъемное соединение образуется при совместном воздействии на заготовки механических колебаний высокой частоты и относительно небольших усилий сдвигания. Механические колебания с ультразвуковой частотой в зоне сварки ведут к выделению теплоты и нагреву свариваемых частей заготовок. Принципиально данный способ сварки имеет много общего с холодной сваркой. При ультразвуковой сварке для получения механических колебаний высокой частоты используют магнитострикционный эффект, заключающийся в изменении размеров некоторых металлов, сплавов и керамических материалов под действием пе-

ременного магнитного поля. Изменения размеров магнито-стрикционных материалов очень незначительны, поэтому для увеличения амплитуды и концентрации энергии колебаний, а также для передачи механических колебаний к месту сварки используют волноводы, форма которых в продольном сечении суживается в направлении к опоре с заготовками. На рисунке 3.23 показана схема ультразвуковой сварки. Свариваемые заготовки 6 размещают на опоре 7. Трансформатор продольных колебаний 3 совместно с накопником 5 и рабочим удлинителем (инструментом) 4 составляет волновод, присоединяемый к магнито-стрикционному преобразователю 2. Последний представляет пакет штампованных пластин из магнито-стрикционного материала (чистого никеля или сплава железа с кобальтом) с размещённой на нём обмоткой. В обмотке возбуждается с ультразвуковой частотой переменное магнитное поле с помощью ультразвукового генератора 1. Магнитное поле вызывает колебание сердечника (пакета пластин) с той же частотой. Сила сдвигания P создаётся моментом M в трансформаторе колебаний. Усилие сжатия может быть дополнительно гидравлическими, пневматическими или механическими системами. В результате ультразвуковых колебаний в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются сдвиговые деформации, разрушающие поверхностные плёнки. Сдвиговые деформации вместе с силами трения преобразуют механическую энергию в тепловую, которая ведёт к нагреву тонких поверхностных слоёв и последующему их размягчению. Под действием сжимающего усилия P металл пластически деформируется, в результате чего при сближении поверхностей заготовок на расстояние действия межатомных сил между ними возникает прочная металлическая связь. Сравнительно небольшое тепловое воздействие на свариваемые материалы обеспечивает минимальное изменение их структуры, механических и других свойств. Например, при сварке меди температура в зоне контакта не превышает $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при сварке алюминия — $200\ldots 300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это осо-

бенно важно при сварке химически активных металлов, а также металлов, которые в результате высокотемпературного нагрева становятся хрупкими.

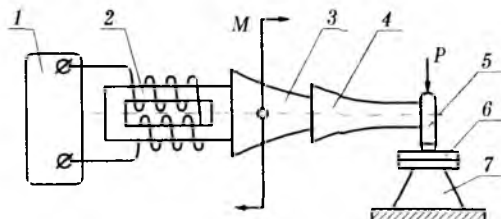


Рис. 3.23. Схема ультразвуковой сварки:
 1 — ультразвуковой генератор; 2 — магнитострикционный преобразователь; 3 — трансформатор продольных колебаний;
 4 — рабочий удлинитель; 5 — наконечник;
 6 — заготовки; 7 — опора

Ультразвуковой сваркой можно получать точечные и шовные соединения внахлестку, а также контурные соединения. Шовные соединения получают на машинах, аналогичных машинам для точечной сварки. Отличие заключается в том, что их рабочий инструмент и опора изготавливаются в форме роликов.

При контурной сварке например по кольцевому периметру (рис. 3.24) в волновод 1 вставляют сменный штифт в виде пустотелого конуса 2, большее основание которого обращено к свариваемому изделию 3. Заготовка изделия 3 центрируется по отношению к конусу с помощью полусферического выступа на сменном прижимном штифте 4, вставляемого в прижимную опору 5. При равномерном поджатии заготовок к опоре

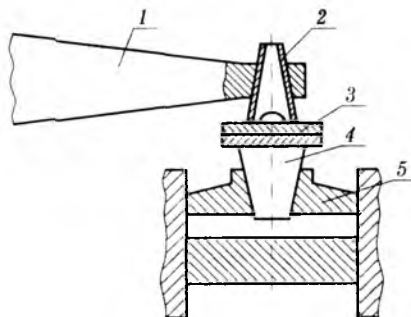


Рис. 3.24. Схема контурной ультразвуковой сварки:
 1 — волновод;
 2 — сменный полый штифт;
 3 — свариваемое изделие;
 4 — сменный прижимный штифт; 5 — прижимная опора

получают герметическое соединение по всему контуру изделия 3.

Основным достоинством ультразвуковой сварки является возможность соединять тонкие листы и фольгу с деталями большой толщиной. Например, приваривать тонкие спиральные рёбра к стержням, тонкие гофрированные листы к толстым плоским основаниям, сваривать тонкостенные детали приборов и т.п. Технология сварки упрощается тем, что нет необходимости в тщательной зачистке свариваемых поверхностей, достаточно только обезжиривания растворителями. Ультразвуковой сваркой можно сваривать заготовки толщиной до 1 мм и ультратонкие заготовки толщиной до 0,001 мм.

Ультразвуковую сварку применяют для сварки пластмасс: винипласта, полиэтилена, капрона, нейлона и органического стекла толщиной от 0,5 до 10 мм. Установки для сварки этих материалов характеризуются тем, что в зоне сварки создаются не касательные (тангенциальные) напряжения, обусловленные трением свариваемых поверхностей, а нормальные (перпендикулярные) к поверхности. Частота колебаний при сварке пластмасс составляет 18...25 кГц.

Этим методом можно сваривать металлы в однородных и разнородных сочетаниях, например алюминий с медью, медь со сталью, цинк с оловом и т.п.

Прочность соединения, выполненного ультразвуковой сваркой, достаточно высока (не менее 90 % от наиболее прочного металла в этом соединении).

Ультразвуковая сварка находит применение в радиоэлектронике, в авиационной промышленности, в приборостроении, в точном машиностроении, в производстве медицинского оборудования и в других отраслях.

Сварка взрывом. Сварку взрывом можно отнести к способам сварки с оплавлением при кратковременном нагреве на воздухе, так как на отдельных участках наблюдаются зоны металла, нагретые до оплавления. Однако на других участках температура может быть невысока, и здесь про-

цесс приближается к холодной сварке. Данная сварка осуществляется за счёт совместной пластической деформации поверхностных слоёв двух заготовок при их соударении в результате взрыва.

Большинство технологических схем сварки взрывом основано на использовании направленного (кумулятивно-го) взрыва. Заготовки перед сваркой устанавливают под углом друг к другу, причём нижнюю заготовку укладывают на жёсткую опору. На верхнюю заготовку, расположенную под углом к нижней, тонким слоем размещают взрывчатое вещество, а внизу над вершиной угла устанавливают электродетонатор, необходимый для возбуждения взрыва. Фронт детонационной ударной волны, распространяемый со скоростью 2000...8000 м/с и накрывающий поверхность наклонённой детали с нижней части до верхнего края, нахлестом в течение нескольких микросекунд бросает верхнюю заготовку на нижнюю. При смыкании заготовок в сторону открытого угла между ними выбрасываются сорванные тонкие поверхностные слои, окисные плёнки и загрязнения. Такой процесс подобен предварительной очистке соединяемых поверхностей. Сомкнутые поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил сцепления, и происходит схватывание по всей площади соединения, т.е. происходит сварка заготовок. Так как продолжительность сварки взрывом не превышает нескольких микросекунд, то этого времени недостаточно для протекания диффузионных процессов, образования промежуточных химических соединений между разнородными металлами и сплавами, но достаточно для образования высококачественного монолитного соединения.

Прочность соединений, полученных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов. Испытания на прочность приводят к разрушению соединения не в зоне контакта поверхностей заготовок, а на некотором расстоянии от него в части из наименее прочного металла. Это объясняется упрочнением тонких слоёв металла, прилега-

ющих к соединённым поверхностям, при их пластической деформации.

Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок для проката биметалла, плакировке плоских поверхностей деталей конструкционных сталей металлами и сплавами с особыми физическими и химическими свойствами, при наружном и внутреннем плакировании труб, при сварке заготовок из разнородных материалов. Целесообразно сочетание сварки взрывом со штамповкой и ковкой.

Сварку взрывом осуществляют в специальных камерах и на открытом пространстве. Этот процесс не требует сложного оборудования и может быть автоматизирован.

Диффузионная сварка в вакууме. Диффузионную сварку в вакууме можно отнести к процессам сварки давлением с длительным нагревом в вакууме. При диффузионной сварке соединение образуется в результате взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях контактирующих материалов, находящихся в твёрдом состоянии. Температура нагрева при сварке должна быть несколько выше или ниже температуры рекристаллизации материала, имеющего более низкую температуру плавления.

Диффузионную сварку в большинстве случаев выполняют в вакууме, однако она возможна в атмосфере инертных защитных газов. Свариваемые заготовки устанавливают внутри охлаждаемой металлической вакуумной камеры, в которой создаётся вакуум порядка $133 \cdot 10^{-3} \dots 13 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$. Нагрев заготовок ведётся с помощью высокочастотного индуктора или нагревателя из тугоплавкого металла (вольфрама, молибдена). Для нагрева заготовки может быть использован электронный луч, позволяющий нагревать заготовки с более высокой скоростью, чем при использовании ТВЧ. Электронный луч целесообразно применять для нагрева при диффузионной сварке тугоплавких металлов и сплавов. После нагрева заготовок до требуемой температуры, к заготовкам прикладывают небольшое сжимающее усилие (20...50 МПа) в течение 5...20 минут с помощью меха-

нического, гидравлического или пневматического устройств. Небольшая пластическая деформация приводит к смятию микронеровностей, увеличению площади реального контакта соединяемых поверхностей и способствует взаимной диффузии атомов.

Время выдержки нагрева определяется родом свариваемого металла, размерами и конфигурациями заготовок. Так как процессы диффузии протекают сравнительно медленно, время сварки составляет от нескольких до десятков минут.

Для получения соединения хорошего качества нагрев заготовок по всему сечению должен быть равномерным, а их поверхности очищены от окислов и загрязнений. Тончайшие адсорбированные масляные плёнки испаряются при нагреве в вакууме и не препятствуют образованию соединения.

Преимуществом диффузионной сварки в вакууме является отсутствие припоев, электродов и флюсов. Диффузионная сварка позволяет соединять однородные и разнородные металлы, керамику, получать соединения материалов, резко отличающихся по своим свойствам. После сварки не требуется механической обработки для удаления шлака, грата или окалины.

При диффузионной сварке чистых и однородных материалов (например, стали со сталью, алюминия с алюминием, полупроводниковых элементов одинакового состава и т.п.) в образовавшемся соединении границы раздела не выделяются. Вместе с этим при сварке разнородных материалов, элементы которых не обладают взаимной растворимостью, в месте стыка могут образовываться хрупкая прослойка так называемых интерметаллидных соединений, снижающих прочность материалов. В этом случае применяют объединяющие прокладки из специально подобранного промежуточного материала, способного образовывать твёрдые растворы с каждым из металлов соединяемых деталей. Такие объединяющие прокладки используют при

сварке материалов с резко различающимися коэффициентами линейного расширения, вследствие чего образуется совместное соединение высокой прочности. Удаётся сваривать сталь с алюминием, чугуном, вольфрамом, титаном и металлокерамикой; серебро с коррозионностойкой сталью, платину с титаном, стекло с коваром, медь с титаном и т.д.

Диффузионную сварку применяют в радиоэлектронике, в приборостроении, в текстильном машиностроении, в судостроении, в пищевой промышленности и других отраслях. Этот метод используют для сварки деталей и узлов вакуумных приборов, высокотемпературных нагревателей, при производстве инструмента и т.д.

Установки для диффузионной сварки в вакууме состоят из камеры, вакуумной системы для создания требуемого вакуума в камере, системы сжатия свариваемых заготовок и аппаратуры управления работой отдельных узлов. Установки выпускают для индивидуального производства с обычным ручным управлением и для серийного поточно-массового производства с полуавтоматическим или автоматическим программным управлением. Разработано более тридцати типов универсальных и специализированных сварочных установок (СДВУ) для единичного, серийного и массового производств.

Газопрессовая сварка. Газопрессовая сварка относится к способам сварки давлением с предварительным нагревом места соединения газокислородным пламенем до пластического состояния или до оплавления с последующим приложением сжимающей осевой силы.

Газопрессовую сварку с нагревом контактных мест заготовок до пластического состояния выполняют двумя способами при постоянном давлении при заданной температуре.

В первом случае свариваемые части сдавливаются постоянным осевым усилием в течение всего процесса сварки.

Во втором случае заготовки вначале сжимают небольшим усилием, затем нагревают до температуры сварки, после чего увеличивают давление для достижения заданной

величины осадки. В результате применения последовательности указанных приёмов происходит сварка заготовок. Для указанного вида сварки труб применяют многопламенные горелки. Горелка состоит из двух полуколец. С внутренней стороны полукольца, обращённой к трубе, на одинаковом расстоянии друг от друга располагаются мундштуки для выхода газосварочного пламени. В сомкнутом состоянии полукольца горелки мундштуками охватывают всю окружность трубы. Снятие с трубы или установка полуколец на трубу осуществляется при их размыкании.

Время нагрева стыка не зависит от диаметра трубы, а зависит только от толщины её стенки.

Основными параметрами режима сварки являются температура нагрева ($1200\ldots1300\text{ }^{\circ}\text{C}$), мощность пламени горелки ($0,015\ldots0,002\text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 мм^2 площади сечения) и давление ($15\ldots25\text{ МПа}$).

При газопрессовой сварке оплавлением газокислородное пламя направляют в зазор между торцами свариваемых заготовок. После оплавления торцов заготовок производят осевое сжатие торцов труб и их сварку. Расплавленный металл вместе с окислами в виде грата вытесняется наружу. При сварке оплавлением требуется большая мощность пламени, чем при сварке с нагревом кромок трубы до пластического состояния, но при этом не требуется предварительной обработки и подготовки кромок под сварку.

Газопрессовую сварку применяют для сварки стыков магистральных трубопроводов диаметром $50\ldots600\text{ мм}$, для соединения ответственных деталей подвижного состава железных дорог (рельсов, рессорных листов и т.п.). К преимуществам газопрессовой сварки относятся высокое качество сварных соединений, возможность сваривать встык заготовки диаметром более 50 мм , возможность сваривать заготовки в полевых условиях и использовать природные горючие газы.

Хорошее качество свариваемого соединения обуславливается защитой места соединения восстановительной атмосферой газокислородного пламени.

К недостаткам этого способа по сравнению с электрической контактной сваркой можно отнести более низкую производительность, необходимость применения многопламенной горелки для каждого размера свариваемого стыка и довольно сложной газовой аппаратуры, неравномерность нагрева изделия по сечению при сварке в пластическом состоянии.

Фтороводородная сварка. Этот вид газопрессовой сварки основан на сгорании фтора в водороде. В горелку подают фтор и водород. Температура получаемого пламени значительно выше температуры ацетиленокислородного пламени, что обеспечивает повышение производительности процесса сварки в сравнении с традиционным способом.

3.4. Технология сварки различных металлов и сплавов

3.4.1. Понятие о свариваемости

Способность металлов и сплавов свариваться друг с другом оценивают по их свариваемости. Под свариваемостью понимают возможность образовывать при сварке плотные герметичные швы с требуемыми прочностными и физико-химическими свойствами. Не все металлы и сплавы обладают хорошей свариваемостью. Обычно высокая теплопроводность, незначительный коэффициент линейного и объёмного расширения, незначительность структурных изменений в результате нагрева, малая усадка обуславливают хорошую свариваемость металлов и сплавов.

Наилучшей свариваемостью обладают металлы, способные образовывать друг с другом непрерывный ряд твёрдых растворов. Хуже свариваются металлы с ограниченной растворимостью в твёрдом состоянии. Совершенно нельзя сваривать методом плавления те металлы, которые не растворяются друг в друге в твёрдом состоянии или образуют хрупкие соединения. Эти металлы подвергают сварке давлени-

ем или при сварке вводят промежуточный металл, который способен растворяться в обоих металлах.

Следствием плохой свариваемости является неоднородность сварочного шва, образование дефектов в виде холодных и горячих трещин, пор, неметаллических включений, изменение свойств в зоне сварочного шва, усложнение технологии сварки и другое. В зависимости от этого все материалы можно разделить на четыре группы:

- хорошо сваривающиеся;
- удовлетворительно сваривающиеся;
- ограниченно сваривающиеся;
- плохо сваривающиеся.

К хорошо сваривающимся материалам относятся низкоуглеродистые и низколегированные стали (сталь 15, 20Х и др.). К удовлетворительно сваривающимся материалам можно отнести сталь 35, 20ХН2М, 20ХГС и др. Эти стали следует сваривать при строгом соблюдении режима сварки. Например, иногда их следует подогревать до 100...150 °С для получения качественного сварочного шва. К ограниченно сваривающимся материалам относят те, которые требуют применения специальных электродов для получения качественного сварочного шва, предварительного подогрева до 150...350 °С, термической обработки шва и зоны термического влияния. Такими материалами, например, являются стали 45, 30ХГСА, 30ХН2МА и др. К плохо сваривающимся материалам относят стали 50Г2, 40ХФА и др., которые свариваются с применением сложных технологических приёмов, но имеют пониженное качество сварного соединения.

3.4.2. Сварка углеродистых сталей

Решающими факторами, влияющими на свариваемость сталей, являются их химический состав, физические свойства и режим термической обработки, которой они подвергаются перед сваркой.

Углерод оказывает сильное влияние на качество сварного шва. Повышение содержания углерода сказывается на прочности, твёрдости и вязкости шва. С увеличением содержания углерода в стали (выше 0,3 %) повышается самозакаливаемость переходной зоны в основном металле, и сталь становится более хрупкой. При газовой сварке сталей влияние углерода проявляется значительно меньше, чем при дуговой.

Углеродистые конструкционные стали хорошо свариваются любым способом при содержании до 0,27 % С и удовлетворительно при содержании до 0,55 % С. Для получения высокого качества сварных швов при электродуговой и газовой сварке этих сталей надо правильно выбирать режим сварки и обеспечивать надёжную защиту наплавленного металла от воздействия воздуха.

Конструкционные стали при содержании углерода выше 0,36 % склонны к образованию закалочных трещин при сварке, требуют подогрева и последующей термической обработки. Применение присадочного металла с низким содержанием углерода позволяет избежать закалки шва. Прочность шва можно обеспечить легированием металла сварочной ванны марганцем, кремнием и другими элементами при формировании сварочного шва.

Фосфор при содержании более 0,04 % повышает хрупкость сварного шва.

Сера оказывает отрицательное влияние на свариваемость сталей. Она вызывает красноломкость металла вследствие образования легкоплавкой эвтектики, которая располагается между зёрнами. С увеличением содержания серы (более 0,04 %) наблюдается образование трещин (особенно при газовой сварке).

3.4.3. Сварка легированных сталей

При сварке легированных сталей происходит выгорание легирующих элементов, выделение карбидов при нагреве, наблюдается самозакаливаемость наплавленного ме-

талла и металла переходной зоны, возникают усадочные напряжения и появляются трещины вследствие малой теплопроводности некоторых легированных сталей.

Для предотвращения или устранения указанных явлений при сварке легированных сталей рекомендуется не допускать их перегрева, строго соблюдать установленные режимы сварки, применять специальные составы флюсов и обмазок, подогревать изделия перед сваркой и проводить термообработку изделий после сварки.

Свариваемость **низколегированной конструкционной стали** перлитного класса в основном определяется содержанием углерода. При содержании до 0,2 % С сталь сваривается хорошо, при 0,35 % С — удовлетворительно, при 0,4 % С — ограниченно и при содержании больше 0,40 % С — очень плохо (требуется предварительный подогрев и последующий отжиг).

Хромистые нержавеющие стали содержат 12...14 % Cr и 0,1...0,4 % С. Свариваемость этих сталей вполне удовлетворительная при содержании до 0,2 % С. При сварке необходимо применять защитные покрытия с целью предотвращения выгорания хрома или производить легирование присадочного металла или электродов хромом. Сварку хромистых сталей рекомендуется осуществлять электродуговым способом с обязательным подогревом металла перед сваркой и последующей термической обработкой. Хромистые стали после сварки становятся хрупкими, вследствие чего сварные швы не способны выдерживать больших деформаций. Вязкость сварных швов восстанавливается отжигом при 760 °С.

Хромистые стали с содержанием 17 % Cr и выше рекомендуется сваривать после предварительного подогрева до 200 °С, так как при этом несколько повышается вязкость металла.

Свариваемость хромистых сталей с содержанием 25...30 % Cr вполне удовлетворительная. Однако металл сварного шва, вследствие сильного роста зёрен при высо-

ких температурах сварки и образования внутренних напряжений, приобретает низкие механические свойства. Для снятия внутренних напряжений после сварки применяют отжиг при 960...980 °С для растворения хрупких фаз с последующим быстрым охлаждением. Для предотвращения роста зёрен при сварке рекомендуется вводить в состав электродов или покрытий титан, ванадий и алюминий.

Хромоникелевые стали (17...19 % Cr и 8...10 % Ni) можно сваривать всеми способами. Однако необходимо учитывать, что при их нагреве до 500...800 °С могут выпадать карбиды хрома, которые располагаются по границам зёрен аустенита. Вследствие этого аустенит у границ зёрен обедняется хромом и теряет коррозионную стойкость. В процессе эксплуатации этих сталей может наблюдаться межкристаллитная коррозия, для предотвращения которой в сварных швах в аустенитных сталях уменьшают содержание углерода и вводят в их состав некоторое количество титана и ниобия.

Последующий за сваркой стабилизирующий отжиг (выдержка 2...3 ч при 850...900 °С) повышает стойкость хромоникелевых сталей против межкристаллитной коррозии. Закалкой в воде стали, нагретой под закалку до 1050...1100 °С, можно также понизить склонность её к межкристаллитной коррозии, так как во время нагрева стали под закалку карбиды хрома растворяются в аустените и при быстром охлаждении не успевают выделиться по границам зёрен стали. 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 крупнозернистой структуры и, как следствие, горячих трещин. Для предотвращения этого явления применяют специальную аустенитную сварочную проволоку и электроды, легированные марганцем (Св-30Х25Н16Г7 и др.). Сварочные швы стремятся получать широкие с выпуклой формой поверхности. Аустенит

ные хромоникелевые стали хорошо свариваются электроконтактной сваркой. Точечную и шовную сварку проводят на пониженных плотностях тока, так как эти стали имеют высокое удельное сопротивление, и при повышенных сжимающих давлениях из-за их значительной прочности при высоких температурах.

При сварке марганцовистой стали (0,8...1,3 % С и 12...14 % Мn) происходит выделение карбидов из аустенита и даже возможно частичное превращение аустенита в мартенсит в зоне термического влияния. Это резко снижает пластичность металла и может сопровождаться образованием трещин. Для предотвращения этого явления сварку марганцовистой стали надо вести, как можно быстрее, или применять водяное охлаждение отдельных участков шва, т.е. стремиться уменьшить зону термического влияния.

Сварку марганцовистой стали выполняют электродами того же химического состава, что и химический состав основного металла или электродами из марганценикелевой стали со специальным покрытием.

3.4.4. Сварка чугуна

Сваривать чугун очень трудно вследствие высокого содержания углерода и его низкой пластичности.

В зависимости от назначения чугунное изделие сваривают в горячем или в холодном состоянии. При горячей сварке осуществляется предварительный подогрев свариваемых чугунных изделий до 600...650 °С, причём эта температура поддерживается в течение всего процесса сварки.

Следует отметить, что в процессе горячей сварки чугуна на стыке свариваемых изделий надо создать значительный объём жидкого металла, заметно превышающий объём металла в стальной сварочной ванне. Это необходимо для замедленного охлаждения расплавленного металла и предотвращения его отбеливания. Замедленное охлаждение обеспечивает более полную графитизацию чугуна, предотвращает

образование в нём трещин и способствует получению более высокой плотности шва. При правильном выполнении процесса сварки наплавленный металл имеет структуру серого чугуна с хорошо сформированными выделениями графита.

Горячая сварка серого чугуна может быть осуществлена электрической дугой или газовым пламенем с общим или местным подогревом изделия. Общий подогрев применяют при сварке небольших деталей сложной формы. После сварки деталь покрывают асбестом или засыпают углем для замедления остывания. В качестве присадочного материала применяют чугунные стержни с содержанием кремния Si до 3,6 % и стальную проволоку.

При газовой сварке серого чугуна наибольший интерес представляет заварка чугуна медью и её сплавами. В качестве флюса применяют прокалённую бурю или смесь буры (50 %), двууглекислого натрия (47 %) и кремнезёма (3 %). Газовое пламя применяется с избытком кислорода. Мощность пламени выбирают в зависимости от толщины металла из расчёта расхода ацетилена 100...120 дм³/ч на 1 мм толщины изделия.

Горячую сварку серого чугуна электрической дугой чаще всего осуществляют на постоянном токе металлическим или угольным электродом. Металлические электроды представляют собой чугунные стержни диаметром 12 мм, покрытые специальной обмазкой.

Более распространённым методом сварки серого чугуна является холодная сварка электрической дугой. В этом случае в качестве электродов применяют чугунные или стальные стержни со специальной обмазкой, стержни из сплавов меди с никелем (монель-металла) и др.

Так как при холодной сварке серого чугуна температура изделия не превышает 30...40 °С, процесс сварки необходимо вести коротким швом. Для более медленного охлаждения шов покрывают листовым асбестом. Для того чтобы избежать повышения твёрдости металла в месте сварки применяют комбинированные электроды, например стальные электроды ди-

лиметром 3...5 мм с тонкой обмазкой, вставленные в медную трубку. Применяют электроды из аустенитного чугуна.

Для получения высоких механических качеств и усиления связи металла шва с основным металлом заготовки рекомендуется в месте сварки устанавливать стальные шпильки. Они передают термические напряжения на все изделия.

Если после сварки деталь из ковкого чугуна подвергают отжигу, то для сварки электрической дугой применяют стальные электроды, а для сварки газовым пламенем — присадочную стальную проволоку. Если деталь из ковкого чугуна не подвергается отжигу, то применяют газовую сварку с присадочной латунной проволокой или электродугую сварку электродом из монель-металла.

Сварка высокопрочных чугунов значительно сложнее, так как трудно обеспечить высокие механические свойства сварного соединения. Это объясняется повышенной склонностью чугунов к закаливанию и отбеливанию.

Дефекты чугунного литья исправляют газовой сваркой с применением прутков из магниевого чугуна. Заварка небольших дефектов в отливках из серого чугуна осуществляется электродуговой сваркой с железно-никелевыми электродами.

3.4.5. Сварка алюминия и алюминиевых сплавов

В машиностроении применяют сварные конструкции из алюминия и его сплавов. При сварке алюминия и его сплавов возникают трудности вследствие того, что алюминий легко окисляется и на его поверхности образуется тугоплавкая плёнка окиси алюминия. Эта плёнка, хотя и защищает поверхность металла от дальнейшего окисления, препятствует сплавлению кромок. Перед сваркой плёнку следует механически или химически удалить и не допускать её образования в процессе сварки.

При нагревании до температуры плавления алюминий быстро переходит из твёрдого состояния в жидкое, что ве-

дёт к образованию прогибов, изломов и провалов участков свариваемого изделия. Поэтому сварку рекомендуется вести на формирующих подкладках.

Алюминий в жидком состоянии хорошо растворяет водород. При понижении температуры, вследствие уменьшения растворимости в алюминии водород выделяется из металла и располагается по границам зёрен в виде мельчайших пузырьков, несколько снижающих прочность шва и нарушающих герметичность сварного соединения.

При затвердевании алюминий и его сплавы дают большую усадку, вследствие этого вблизи шва могут образовываться трещины. Для предотвращения большой усадки и появления трещин для сварки алюминия и его сплавов применяют прутки и электроды специального состава.

Алюминий и его сплавы можно сваривать почти всеми рассмотренными способами. Перед сваркой кромки изделия и присадочные прутки очищают металлической щёткой от грязи, обезжиривают бензином и раствором каустической соды и подвергают травлению. Травление производят при 50...70 °С в растворе едкого натрия (45...50 г/дм³ воды) в течение 1 мин. После травления изделия промывают в холодной и горячей воде.

Для удаления плёнки окиси алюминия из сварочной ванны применяют активные порошкообразные флюсы или специальные пасты. Наибольшее распространение получил флюс АФ-4а, содержащий 50 % хлористого калия, 28 % хлористого натрия, 14 % хлористого лития и 8 % фтористого натрия. Остатки флюса вызывают коррозию, поэтому после сварки остатки этого флюса смывают с поверхности шва тёплой водой, а затем 5%-ным раствором азотной кислоты с 2 % хромпика с последующей промывкой водой в течение 5 мин и сушкой. Этот флюс в виде пасты, замешанной на воде, применяют при газовой сварке.

При сварке алюминия и его сплавов в качестве присадки применяют проволоку того же химического состава, что и химический состав свариваемого металла. Хорошие резуль-

таты при сварке сплава АМц и некоторых термически обрабатываемых алюминиевых сплавов даёт применение присадочной проволоки марки АК, содержащей около 5 % Si. Эта проволока обеспечивает повышенную жидкотекучесть металла шва и меньшую усадку его при затвердевании.

Сварку алюминиевого литья ведут с предварительным подогревом до 250...260 °С. Для получения мелкозернистого строения шва и устранения внутренних напряжений иногда его подвергают отжигу при 300...350 °С.

При электродуговой сварке металлическим электродом применяют специальную обмазку, в состав которой входит до 15 % хлористого натрия, до 50 % хлористого калия и до 35 % криолита. На 100 г смеси добавляют 50 см³ воды. Связывающим веществом служит хлористый натрий, который одновременно является и флюсующим компонентом. Толщина обмазки на электроде достигает 1...1,2 мм на сторону. Сварку алюминия и его сплавов ведут на постоянном токе при обратной полярности. Шлак после сварки удаляется горячей водой.

Дуговую сварку алюминия угольным электродом производят с присадочным металлом и флюсом того же состава что и при газовой сварке.

Атомноводородную сварку алюминия и его сплавов применяют для ответственных конструкций (толщина деталей составляет 1,5...10 мм). Состав присадочного металла и флюса тот же, что и при газовой сварке.

Аргонодуговую сварку плавящимся электродом применяют для деталей толщиной 4...100 мм и более, а неплавящимся электродом — 0,5...15 мм.

При электроконтактной точечной или роликовой сварке алюминиевых сплавов применяют токи большей силы, чем при сварке сталей той же толщины. Продолжительность сварки должна быть меньше. Это объясняется повышенной теплопроводностью и электропроводностью алюминиевых сплавов по сравнению со сталью. Например, при точечной сварке листовой стали толщиной 2 мм применяют силу тока

7500 А при продолжительности сварки 0,5 с и давлении электродов 3 кН, а при сварке листового дюралюминия такой же толщины соответственно 31000 А, 0,12 с, 5 кН. В машинах, используемых для сварки алюминиевых сплавов, применяют специальные ионные прерыватели, обеспечивающие минимальное время протекания тока. Широкое применение нашли конденсаторные машины, дающие мощный импульс сварочного тока за сотые доли секунды.

3.4.6. Сварка магниевых сплавов

В технике применяют сварные изделия из сплавов магния с марганцем, цинком и алюминием. При газовой сварке магниевые сплавы легко воспламеняются, что затрудняет процесс сварки. Трудность также создаёт низкая температура плавления магниевых сплавов и образование на поверхности сварочной ванны очень тугоплавкой окиси магния ($T_{пл} = 2500\text{ }^{\circ}\text{C}$). Магниевые сплавы при нагревании не только окисляются, но и активно соединяются с азотом, образуя нитрид магния, который снижает прочность сварочного шва. Магниевые сплавы растворяет водород, обуславливающий пористость сварочного шва.

Сварка магниевых сплавов осуществляется так же, как и сварка алюминиевых сплавов. Магниевые сплавы можно сваривать газовой, дуговой (угольным электродом), аргонодуговой точечной и роликовой сваркой. При газовой и дуговой сварке магниевых сплавов чаще всего применяют флюсы такого же состава, что и при сварке алюминия.

3.4.7. Сварка титана и его сплавов

В последние годы широко применяют дуговую сварку титана и его сплавов в атмосфере инертного газа или автоматическую дуговую сварку под флюсом на основе Са, Na, исключаяющим возможность взаимодействия титана с кислородом.

Хорошие результаты получают при аргонодуговой автоматической сварке деталей из титана и его сплавов малых толщин вольфрамовыми электродами диаметром 1,5...3 мм при короткой дуге (1,0...1,5 мм) и плотности тока 40...75 А/мм². Для сварки титана и его сплавов чаще всего применяют постоянный ток прямой полярности или переменный ток. Скорость автоматической дуговой сварки составляет 18...27 м/ч при расходе аргона 0,36...0,65 м³/ч.

Автоматическую электродугую сварку в среде аргона можно также производить плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности. В качестве электрода применяют сварочную проволоку диаметром 1,2...5 мм. Плотность тока равна 75...100 А/мм², скорость сварки 16...40 м/ч.

Сварку толстых деталей (до 40 мм) из титана и его сплавов осуществляют методом электрошлаковой сварки электродом толщиной 3-4 мм с использованием переменного тока. Место сварки и прилегающие зоны основного металла необходимо тщательно защищать от воздействия азота, водорода и кислорода, так как титан обладает большой химической активностью взаимодействия с этими элементами и восстанавливает их. При температурах выше 600 °С титан интенсивно поглощает газы.

Электрошлаковую сварку ведут с применением специального флюса АН-12, содержащего стойкие бескислородные соединения титана и обладающего высокой температурой плавления и кипения.

При точечной и роликовой сварке титана защитную атмосферу из нейтральных газов не применяют, необходимо иметь лишь чистую поверхность изделий.

3.4.8. Сварка меди и медных сплавов

При сварке меди и её сплавов необходимо учитывать некоторые свойства меди и компонентов, входящих в её сплавы (цинка, олова). На свариваемость меди большое влияние оказывают содержащиеся в ней вредные примеси: кис-

лород, водород, висмут, свинец. Кислород, находящийся в меди в виде закиси Cu_2O , является причиной образования горячих трещин. Она образует с медью легкоплавкую эвтектику с температурой плавления 1064°C , которая располагается по границам кристаллов сварочного шва. Для расплавленной меди характерна высокая растворимость водорода, который при затвердевании сварочной ванны интенсивно выделяется и вызывает появление пористости.

Для меди применяют, главным образом, газовую или электродуговую (угольным электродом) сварку.

При газовой сварке меди используют присадочные прутки из чистой электролитической меди или из меди с содержанием до 0,2 % Р и до 0,3 % Si. Последние два элемента являются энергичными раскислителями сварочной ванны.

Наиболее распространённый флюс для сварки меди содержит 70 % буры, 10 % борной кислоты и 20 % поваренной соли.

Мощность горелок при сварке меди, вследствие её большой теплопроводности, должна быть в 1,5...2 раза больше, чем при сварке стали. Расход ацетилена составляет 0,15...0,2 м³/ч на 1 мм толщины изделия.

Сварка меди осуществляется с повышенной скоростью (во избежание перегрева металла вблизи места сварки), при наклоне мундштука горелки под углом $70...80^\circ$ к поверхности изделия. Изделия из меди большой толщины необходимо подогревать во время сварки с помощью второй горелки. Сварной шов из меди рекомендуется проковать при $400...500^\circ\text{C}$ с целью повышения его механических свойств, а изделие подвергнуть отжигу для получения мелкозернистой структуры. Пламя при сварке должно быть нейтральным.

При сварке меди угольным электродом можно пользоваться открытой или закрытой (под флюсом) дугой. При сварке открытой дугой применяют присадочные прутки из фосфористой меди с нанесённым на них покрытием, в состав которого входят бура, кислый и фосфорнокислый на-

трий, кремниевая кислота и древесный уголь. При сварке меди закрытой дугой применяют специальные флюсы.

Изделия из меди, и особенно листовый материал, можно сваривать электродуговым способом с применением медного электрода. В этом случае сварку меди, в том числе и автоматическую, надо вести под слоем флюса.

Латунь сваривают в основном ацетиленокислородным нейтральным пламенем и электрической дугой (угольными электродами). Основной трудностью сварки латуни является возможность испарения цинка, которое вызывает понижение механических свойств и появление пор в шве. При сварке применяют те же флюсы и прутки, что и при сварке меди. В настоящее время освоена автоматическая сварка латуни электрической дугой под флюсом (медной проволокой).

Бронзу сваривают газовой, дуговой и аргонодуговой сваркой. Оловянистая бронза при температуре примерно 600 °С приобретает повышенную хрупкость, поэтому процесс её сварки обязательно ведут на подкладках. Назначение подкладок — отвод лишнего тепла с целью ускорения охлаждения металла ванны. Кроме того, оловянистые бронзы рекомендуется вести как можно быстрее, так как возможно выплавление легкоплавкой составляющей.

При газовой сварке бронзы в качестве флюса применяют буру, а при сварке алюминиевых бронз — флюс марки АФ-4а.

3.4.9. Сварка тугоплавких металлов и сплавов

К тугоплавким металлам, используемым для получения сварных конструкций, относятся титан, цирконий, ванадий, ниобий, тантал, молибден, вольфрам и др. К трудностям сварки этих металлов и их сплавов относятся:

- 1) высокая химическая активность в воздухе, как в расплавленном состоянии, так и в твёрдом при повышенных температурах;
- 2) склонность к образованию пор;
- 3) склонность к образованию трещин.

Такие свойства тугоплавких металлов и их сплавов как чувствительность к термическому циклу сварки и склонность к образованию пор и трещин зависят от химического состава сплава, содержания примесей в исходном материале, качества защиты металла шва и технологических режимов сварки.

Для соединения тугоплавких металлов и их сплавов преимущественно применяют сварку плавлением: дуговую в инертных газах (в камерах и со струйным обдувом), под бескислородным флюсом (для титана), электроннолучевую и лазерную. Для некоторых изделий применяют следующие способы сварки давлением: диффузионную в вакууме и защитных газах, взрывом и контактную. По свариваемости и технологии сварки тугоплавкие металлы можно разделить на две группы. К первой группе относятся титан, цирконий, ниобий, ванадий, тантал, ко второй — молибден, вольфрам. Металлы и сплавы первой группы обладают хорошей стойкостью против образования горячих трещин, но склонны к образованию холодных трещин. Склонность этих металлов к холодным трещинам связана с присутствием водорода, который охрупчивает металл в результате образования гидридов металла при содержании его выше предельной растворимости. Кроме того, охрупчивание металла происходит также при насыщении кислородом, азотом, углеродом и теплофизическом воздействии сварки, вызывающем перегрев, укрупнение зерна и выпадение хрупких фаз по границам зёрен.

Металлы и сплавы второй группы весьма склонны к образованию горячих трещин из-за малой деформационной способности, повышенной чувствительности к элементам внедрения и теплофизическому воздействию процесса сварки.

Основными способами получения сварных соединений, стойких против образования трещин, являются:

- 1) высокое качество исходных материалов (основного и присадочного и защитных;

- 2) применение технологии сварки, гарантирующей минимальное насыщение металла шва примесями;
- 3) рациональная конструкция сварных узлов;
- 4) применение специальных технологических приёмов, например, для металлов второй группы — подогрева в процессе сварки.

Из всех тугоплавких материалов самое широкое применение в промышленности получил титан и его сплавы. Сварку титана и его сплавов проводят в атмосфере защитных газов с дополнительной газовой защитой корня шва и ещё не остывшего участка шва до 400 °С. Перед сваркой проволоку подвергают вакуумному отжигу. Для сварки титана больших толщин применяют автоматическую сварку под специальным бескислородным флюсом (АНТ-1, ПНТ-3 и т.д.). Защита обратной стороны осуществляется применением остающейся или флюсомедной прокладки, или флюсовой подушки. При этом используют постоянный ток обратной полярности. Кроме того, для сварки титана и его сплавов можно применять и другие способы сварки: вакуумно-дуговую, электроннолучевую, диффузионную и т.п.

3.4.10. Наплавка сплавов

Наплавку применяют с целью повышения в определённом месте механических и физико-химических свойств основного металла, а также для восстановления деталей после износа.

В качестве наплавочных материалов применяют литые, керамические и порошковые твёрдые сплавы, содержащие карбиды марганца, хрома, вольфрама, титана и др. Наплавка износостойкими сплавами повышает срок службы изделий в 3...4 раза и позволяет многократно восстанавливать изношенные детали.

Наплавку любого материала можно производить газовой, электродуговой и газoeлектрической сваркой.

Наносить наплавочные материалы на изделия следует тонкими слоями. Толщина наплавленного слоя должна

быть, как правило, не более 2 мм. При большей толщине слоя повышается склонность наплавленного материала к образованию трещин.

Детали, подвергающиеся наплавке, предварительно нагревают до 350...500 °С; после окончания наплавки их медленно охлаждают.

Наибольшее распространение получила электродуговая наплавка. Она экономична и обеспечивает хорошее качество наплавленного металла, позволяет автоматизировать процесс наплавки и требует сравнительно простого оборудования.

Электронаплавка может быть ручной, автоматической и полуавтоматической.

Перспективны такие виды наплавки как пучком электродов, трёхфазной дугой, ленточным или пластинчатым электродом. Применяют также наплавку в защитных газах (углекислом газе, аргоне, атомарном водороде и др.).

Газовую наплавку применяют реже, так как она не обеспечивает достаточной стабильности химического состава наплавленного металла. Кроме того возможно образование в шве пор и неметаллических включений.

Вибродуговая наплавка является новым методом восстановления изношенных деталей (шейки валов, оси и т.д.). Слой металла толщиной до 2 мм наносят на поверхность изношенного изделия присадочной проволокой толщиной 1,5...2,0 мм. Наплавка металла происходит в специальном электролите (водный раствор мыла и кальцинированной соды). При прохождении тока через электролит происходит электрический разряд, в результате которого выделяющееся тепло оплавляет конец вибрирующей электродной проволоки. Расплавленный металл попадает на поверхность вращающейся детали. Вследствие того, что наплавка ведётся в жидкости, изделие не нагревается; это позволяет производить наплавку термически обработанных деталей. Вибродуговую наплавку можно также осуществлять под слоем флюсов.

Разновидностью наплавки можно считать газовую и электродуговую металлизацию. Этот процесс состоит в том, что расплавленный металл увлекается струёй сжатого воздуха и *в виде мельчайших распылённых частиц направляется на поверхность изделия, образуя прочный слой металлического покрытия любой толщины.*

Источником тепла, вызывающего расплавление непрерывно подающейся проволоки, или металлических порошков является ацетиленокислородное пламя или электрическая дуга. В соответствии с этим различают газовую или электрическую металлизацию. Процесс осуществляется специальными пистолетами-металлизаторами.

Металлизацию *широко применяют при ремонте оборудования с целью восстановления размеров изношенных деталей, исправления некоторых литейных дефектов, защиты от коррозии и получения декоративных покрытий, повышения жаростойкости и т.п.* Физико-механические свойства слоя, образуемого в процессе металлизации, могут сильно отличаться от свойств основного металла.

После нанесения покрытия детали подвергают механической или термической обработке.

Сцепление нанесённого слоя с основным металлом является менее прочным по сравнению с другими способами. Но её можно увеличить повышением качества подготовки поверхности правильным выбором режима работы пистолета-металлизатора, температуры поверхности.

3.5. Технологичность сварных соединений

3.5.1. Понятие о технологичности сварных соединений

Под технологичностью изделия понимают совокупность его свойств, которые обусловлены оптимальным распределением затрат материалов, средств труда и времени на подготовку производства и изготовление изделий для за-

данных показателей качества, объёма выпуска и условий выполнения работ. Таким образом, технологичность вызывают с выбором материалов, конструктивного оформления изделия, способов осуществления процессов их изготовления. Этот выбор должен обеспечивать удобство и простоту изготовления изделия любыми способами сварки и при различных режимах, автоматизацию и механизацию максимального числа операций технологического процесса, повышение производительности труда и высокий уровень механизации, низкую себестоимость процесса сварки за счёт экономии сварочных материалов и высокое качество изделий.

При проектировании сварных соединений, заготовок и узлов прежде всего учитывают требования к технологичности их изготовления. Высокое качество сварных изделий требует минимального искажения формы, которое вызывается тепловыми и механическими воздействиями при сварке.

3.5.2. Выбор материала

При выборе материала для сварных соединений, заготовок и узлов учитывают не только его эксплуатационные свойства, но и его свариваемость или возможность применения технологических мероприятий, обеспечивающих хорошую свариваемость. Физико-механические, эксплуатационные и другие свойства материалов (металлов) не определяют в полной мере их пригодность к применению в сварных заготовках и узлах. В процессе сварки металл подвергается термическим, химическим и механическим воздействиям. В связи с этим в зонах термического влияния и механического воздействия, расположенных около сварочного шва, изменяются химический состав основного металла, его структура и механические свойства. Следовательно, механические и другие эксплуатационные свойства металла в зоне сварного соединения могут отличаться от свойств основного металла.

Изготовление сварных соединений из конструкционных легированных сталей ведёт к снижению пластичности металла, прочности сварочного шва и околошовной зоны, если основной металл находится в соответствии с требованиями технических условий в состоянии упрочняющей термической обработки. Следствием проведения сварочного процесса может быть переход металла в зоне соединения в хрупкое состояние. Эксплуатация таких соединений связана с опасностью их разрушения в условиях динамических нагрузок или при понижении температуры.

При сварке высоколегированных коррозионностойких сталей возможна потеря коррозионной стойкости металла в зоне сварки.

При сварке меди наблюдается понижение электропроводности.

При сварке тугоплавких металлов (титана, молибдена и др.) наблюдается снижение пластичности и переход металла в хрупкое состояние.

При сварке легированных и высоколегированных сталей и сплавов цветных и тугоплавких металлов существует большая вероятность образования сварочных дефектов типа холодных или горячих трещин. Это связано с тепловым воздействием процесса сварки на металл, даже при условии соблюдения рациональной технологии. Особую сложность представляет сварка большинства разнородных металлов в различных сочетаниях. Особенно это относится к сварке металлов с неметаллами. Многие известные для металлов нежелательные изменения свойств в зоне сварочного шва могут проявляться ещё в большей степени для такого рода соединений.

Для получения металла сварочного шва, равноценного по эксплуатационным показателям с основным металлом, на стадии конструирования сварных соединений в первую очередь следует выбирать материалы, обладающие хорошей свариваемостью. К таким материалам относятся низкоуглеродистые стали спокойной выплавки, многие марки

низколегированной стали, сплавы цветных металлов, применение которых не ограничивается какими-либо требованиями к способу и режимам сварки.

Проектирование изделий из материалов с пониженной свариваемостью, необходимость применения которых вызвана условиями эксплуатации, требует учёта этих особенностей. Для сведения к минимуму неблагоприятных изменений свойств металла в зоне сварочного шва и исключения в нём дефектов необходимо применять способы и режимы сварки, оказывающие минимальные термическое и механическое воздействия на основной металл. С этой целью проводят технологические приёмы (подогрев, искусственное охлаждение и др.), снижающие влияние температурного воздействия процесса сварки на основной металл. Термическая обработка после сварки (нормализация, закалка с отпуском и др.) может в значительной степени устранить неоднородность свойств в сварных заготовках или узлах. Прочность в зоне сварочного шва может быть повышена механической обработкой после сварки: прокаткой, проковкой и др.

Реализация приведённых технологических приёмов зависит от габаритных размеров и конструктивных особенностей сварных заготовок и узлов. Для узлов сложной формы с элементами, имеющих большие размеры (длину, ширину, толщину) при наличии криволинейных сварочных швов в различных пространственных положениях следует применять только материалы, обладающие хорошей свариваемостью. Такие материалы сваривают универсальными способами, например ручной дуговой сваркой покрытыми электродами или полуавтоматической сваркой в защитных газах. Эти способы удобны тем, что не требуются предварительный подогрев, затруднённый из-за больших размеров элементов конструкции, а также высокотемпературная термическая обработка, нагревательные печи и закалочные ванны соответствующего размера. Для малогабаритных узлов простой конструкции возможно применение

материалов и с пониженной свариваемостью, так как при их изготовлении используют самые оптимальные с точки зрения свариваемости способы сварки, например электронно-лучевую или диффузионную в вакууме. Эти методы позволяют осуществить все необходимые технологические приёмы и требуемые термическую или механическую обработку после сварки.

3.5.3. Выбор типа соединения и виды сварочных швов

Типы сварочных соединений и виды сварочных швов определяются взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их кромок под сварку. По первому признаку различают четыре основных типа сварочных соединений: стыковые, тавровые, нахлёсточные и угловые (рис. 3.25).

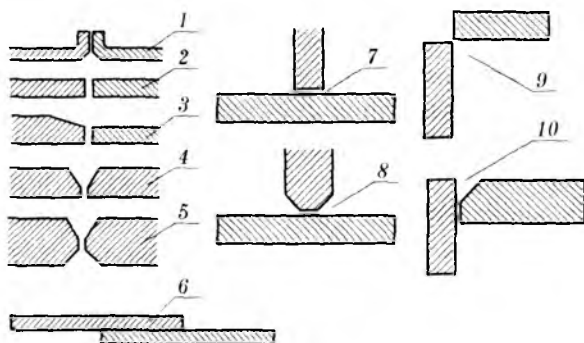


Рис. 3.25. Типы сварных соединений и виды разделок кромок:

- 1-5 — стыковые соединения;
- 6 — соединение внахлёстку;
- 7, 8 — тавровые соединения;
- 9, 10 — угловые соединения

Кромки заготовок разделявают под сварку с целью полного провара заготовок по толщине, что является одним из условий равнопрочности металла сварочного шва (око-

лошовной зоны) и основного металла. Форму и размеры элементов разделки кромок (угол среза, притупление и зазоры) назначают исходя из условий полного проплавления заготовки по толщине, обеспечения формирования корня шва (без непроваров и прожогов) и минимального объёма наплавленного металла. На рисунке 3.25 показаны типы сварочных швов стальных соединений и формы разделок кромок для основных способов сварки плавлением и давлением.

Тип сварочного шва выбирают с учётом обеспечения равнопрочности металла шва и основного металла, конструктивных особенностей изделия, уровня технологичности. Выбор разделки кромок зависит от толщины металла, его теплофизических свойств и способа сварки.

Стыковые соединения (встык). Этот тип соединения элементов плоских и пространственных конструкций является наиболее распространённым. Соединения имеют высокую прочность при статических и динамических нагрузках. Их выполняют практически всеми способами сварки плавлением и многими способами сварки давлением. Особенностью применения способов сварки с повышенной тепловой мощностью (автоматической сварки под флюсом, плазменной струёй) является опасность сквозного прожога стыковых элементов при формировании корня шва. Для устранения этого явления предусматривают съёмные или остающиеся на изделии подкладки. Применяют также двустороннюю сварку, однако при этом возникает необходимость кантовки (переворачивания) заготовки и обеспечения свободного доступа к обратной стороне стыка элементов изделия. При сварке встык элементов различной толщины торец более толстого элемента изготавливают (срезают) со скосом для выравнивания толщины соединения. Этот приём обеспечивает равномерный нагрев кромок, уменьшает вероятность прожога в корне шва и способствует равномерному распределению напряжений и деформаций в соединении.

Тавровые соединения. Такие соединения широко применяют при изготовлении пространственных заготовок и узлов. Сварочные швы с односторонней или двусторонней разделкой кромок одного из соединяемых элементов, выполненные с проваром на всю толщину элемента, имеют высокую прочность при любых нагрузках. Тавровые соединения получают угловыми сварочными швами «в лодочку» (симметричную и несимметричную) и «в угол» (рис. 3.26) при использовании всех способов сварки плавлением. Способы сварки давлением для тавровых соединений применяют реже. Например, соединение стержня с пластиной получают стыковой контактной сваркой оплавлением или сваркой трением и т.п.

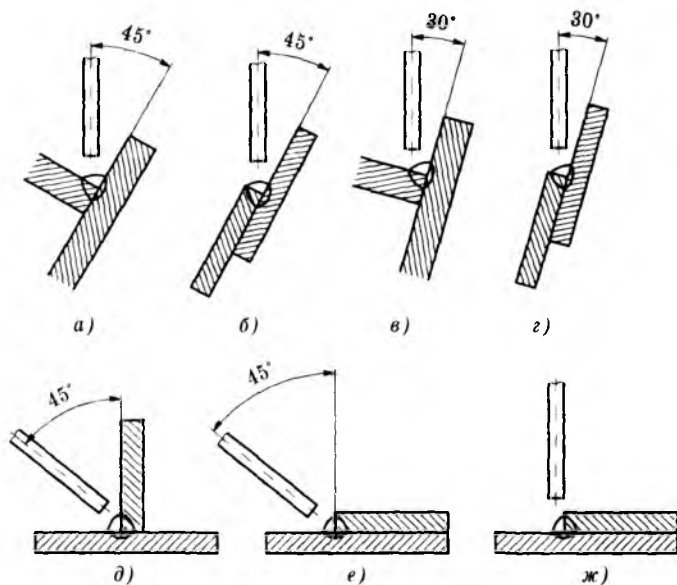


Рис. 3.26. Сварка угловыми швами:
а, б — в «симметричную лодочку»;
в, г — в «несимметричную лодочку»;
д, е — в «угол» наклонным электродом;
ж — «в угол» прямым электродом

Нахлѣсточные соединения (внахлѣстку). Такой тип соединений применяют для сварки листовых заготовок, наложенных друг на друга. Нахлѣсточные соединения характерны при ведении сварки элементов изделия давлением, особенно при точечной и шовной контактной сварке. Для данных видов сварки нахлѣсточное соединение имеет высокий уровень технологичности, так как удобно для двустороннего или одностороннего расположения электродов относительно свариваемых элементов с последующими их перемещениями при сжатии заготовок. Нахлѣсточные соединения изготавливают также сваркой плавлением с помощью угловых швов «в лодочку» и «в угол». В зависимости от направления угловых швов по отношению к действующему усилию их разделяют на лобовые, косые, фланговые и комбинированные. Лобовые швы расположены перпендикулярно к приложенному усилию, фланговые — параллельно усилию, косые под углом.

Сварные соединения с помощью нахлѣсточных швов имеют высокую конструктивную прочность, но в сравнении со стыковыми соединениями отличаются повышенным расходом основного металла из-за перекрытия элементов и наплавленного металла из-за ведения сварки по периметру.

Швы в соединениях, полученных контактной точечной сваркой, часто играют роль связующих элементов и больших рабочих усилий не передают (соединения сварных профилей из листового проката, соединения обшивок с каркасами и т.д.). Швы в соединениях, полученных контактной шовной сваркой, как правило, несут рабочие нагрузки, но их прочность меньше, чем стыковых, выполненных сваркой плавлением. Это обусловлено дополнительным изгибом при осевом нагружении и концентрацией напряжений в шве из-за наличия зазора между элементами.

Угловые соединения. Эти соединения, как правило, выполняют в качестве связующих элементов. Сварочные швы в угловых соединениях получают приёмами «в лодочку»

и «в угол». Соединения предназначены для изготовления объёмных конструкций в виде корпусов, каркасов, рам и др. Выполняют всеми способами сварки плавлением.

3.5.4. Выбор формы свариваемых элементов

Сварные заготовки и узлы изготовляют из проката: листа, труб, профилей, а также из литых, кованных и штампованных элементов. При конструировании изделий размеры и форму свариваемых элементов выбирают на основе учёта его технологичности. Рассматривают возможность применения высокопроизводительных автоматических способов сварки, ведения сварки в нижнем положении шва, свободного доступа к лицевой и корневой частям шва, проведения при необходимости подогрева (или охлаждения) соединения и последующей термической или механической обработки. Оптимизируют суммарную длину сварных швов и суммарную массу основного и наплавленного металлов и т.д.

Одним из показателей рационального выбора формы и размеров элементов является уменьшение полезной массы, отхода материала, трудоёмкости и себестоимости сварных заготовок и узлов. Этому показателю соответствуют элементы изделий простой геометрической формы с прямолинейными или круговыми кромками, образующими стыковые, тавровые и угловые соединения. При выборе сортамента материалов для изготовления элементов предпочтение следует отдавать прокату, гнутым или штампованным профилям и оболочкам и их сочетаниям. При этом следует стремиться к минимальному числу типоразмеров и минимальной толщине свариваемых элементов.

3.5.5. Выбор способа сварки

Способ сварки при конструировании сварных заготовок и узлов необходимо выбирать, исходя из следующих факторов:

- степень теплового воздействия на металл;
- качество получаемых соединений;
- технологические возможности способа;
- производительность выбираемого способа;
- степень автоматизации и механизации процесса сварки.

Тепловое воздействие на металл при сварке — один из главных факторов, обуславливающих изменение свойств металла в зоне сварочного шва. Оно характеризуется сварочным термическим циклом, т.е. изменением температуры во времени. При этом особенно важны максимальная температура нагрева, продолжительность нахождения металла при высоких температурах и скорость охлаждения до комнатной температуры. Обобщённым показателем теплового воздействия может быть величина зоны разогрева, в пределах которой наблюдается изменение свойств металла или происходит пластическая деформация. По степени уменьшения зоны разогрева основные способы сварки можно расположить в следующем порядке: электрошлаковая, газовая, автоматическая под флюсом, ручная дуговая, дуговая в защитных газах, контактная, плазменной струей, электронно-лучевая и т.д. Такое расположение является условным, так как величина зоны разогрева ещё зависит от свариваемой толщины элементов конструкции и режима сварки. Тепловое воздействие способа сварки надо учитывать, если металл свариваемых заготовок имеет пониженную свариваемость или в соответствии с техническими требованиями недопустимы значительные сварочные деформации и напряжения. Например, для коррозионностойких аустенитных сталей применяют дуговую сварку в защитных газах или другие способы с меньшей степенью теплового воздействия, чтобы исключить понижение коррозионной стойкости. Если возможно предусмотреть последующую термическую обработку сварных соединений, то указанную сталь сваривают практически всеми способами сварки. Способами с минимальным тепловым воздействием так-

же рекомендуется сваривать стали и сплавы алюминия, термически упрочнённые и упрочнённые пластической деформацией.

Качество сварных соединений в значительной степени определяется надёжностью защиты сварочной ванны и максимально разогретой зоны от воздействия окружающей среды, а также отсутствием в шве пор, шлаковых включений и других дефектов. Обеспечение указанных условий получения качественных соединений также связано с выбором способа сварки. Наиболее эффективными в обеспечении высокого качества изделий являются сварка в атмосфере защитных газов и сварка в вакууме. Особенно важно правильно выбрать способ сварки при применении материалов, свойства которых ухудшаются при незначительном насыщении газами из окружающего воздуха. Например, для таких тугоплавких металлов, как титан, ниобий, а также для алюминия, магния и высоколегированных сталей предпочтительна дуговая сварка в атмосфере аргона высокой чистоты, а для молибдена и его сплавов — электронным лучом в вакууме. В то же время углеродистые и легированные конструкционные стали успешно сваривают всеми способами дуговой и электрошлаковой сварки. При соответствующем выборе режима и сварочных материалов получают сварные соединения, в которых металл в сварочном шве и основной металл равнопрочные при статических и динамических нагрузках.

Технологические возможности способа сварки определяют диапазоном толщин свариваемых заготовок, конфигурацией швов и их положением в пространстве, конструктивными формами сварных заготовок и узлов, для которых этот способ может быть применён. Большинство способов дуговой сварки имеет широкие технологические возможности (например, ручная сварка покрытыми электродами и ручная и полуавтоматическая в защитных газах). Полуавтоматическую сварку под флюсом применяют только для швов в нижнем положении, а автоматическую

под флюсом — в нижнем положении для длинных прямых и кольцевых швов. Электрошлаковой сваркой можно получить за один проход стыковые и угловые прямолинейные, кольцевые швы и швы переменного сечения на заготовках практически любой толщины. Такое свойство способа сварки расширяет конструкторские возможности при создании крупногабаритных узлов. В отдельных случаях изготовление заготовок сложной формы и значительных размеров (например, станины прессов усилием 500 кН и более) затруднительно или невозможно традиционными способами литья, ковкой или обычными способами сварки. Изготовление подобных узлов стало возможным в результате применения электрошлаковой сварки для соединения относительно простых форм кованных или литых частей.

Контактная стыковая сварка позволяет соединять заготовки со сплошными, полыми и развитыми сечениями (прокат простого и сложного профиля, трубы) из сталей и цветных металлов. Для этих же целей применяют газопрессовую сварку. Качество изделий, полученных этим способом, как правило, не уступает качеству заготовок, полученных стыковой контактной сваркой (например, рельсы из высокоуглеродистой стали).

Тонколистовые пространственные конструкции изготавливают точечной и шовной контактной сваркой. Точечной сваркой часто получают связующие швы, к которым не предъявляют требований герметичности и равнопрочности материала сварочных точек и основного металла. Этим требованиям соответствуют изделия, получаемые точечной сваркой при сборке узлов из фасонных штампованных заготовок или при креплении листовой обшивки к каркасу и т.д.

Рельефной сваркой (разновидность точечной сварки) получают одновременно большое число сварочных точек в параллельных плоскостях. Рельефная сварка производительнее и обеспечивает более высокое качество сварочных

точек, чем точечная. Для применения рельефной сварки на одной из заготовок должны быть выдавлены специальные выступы при штамповке.

Шовной сваркой получают прочные и герметичные швы при изготовлении различных ёмкостей и заготовок, имеющих форму цилиндрических обечаек и оболочек. При применении точечной и шовной сварки для их изготовления следует учитывать необходимость размещения электродов с обеих сторон соединяемых заготовок. Одностороннее расположение электродов возможно только для точечной приварки тонких листов к жёсткой раме или при наличии жёсткой подкладки.

Конструкции заготовок и узлов с местами соединений в труднодоступных местах, в глубоких узких пазах, внутри полостей малого диаметра, между рядом расположенных рёбер жёсткости и т.д. снижают уровень технологичности изделий. Такие соединения в узлах из конструкционных сталей сваривают ручной дуговой сваркой. Если доступ электрода к сварочному шву затруднён, применяют сварку электронным лучом. В противном случае изменяют конструкцию изделия.

Одним из главных показателей современного технологического процесса является степень автоматизации и механизации процесса сварки, повышающая его производительность. Производительность того или иного способа сварки повышается при увеличении эффективной тепловой мощности источника теплоты и степени концентрации энергии, подводимой к сварочному шву. Концентрирование энергии способствует возрастанию проплавляющей способности источника теплоты, уменьшению объёма жидкого металла в сварочной ванне и повышению скорости сварки элементов изделия с заданной толщиной в соединяемом месте.

По степени уменьшения производительности основные способы сварки можно ориентировочно расставить в следующем порядке: электрошлаковая (при толщинах свы-

ше 50 мм), контактная точечная и шовная, автоматическая под флюсом, автоматическая и полуавтоматическая в углекислом газе и аргоне, ручная дуговая и газовая. Производительные способы сварки, как правило, представляют собой автоматизированные или частично автоматизированные процессы. Объясняется это применением мощных источников тепла, когда процессы проплавления и формирования сварочного шва, подачи большого количества присадочного материала следует автоматически или механически регулировать. При конструировании сварных изделий следует предусматривать применение наиболее производительных автоматизированных способов сварки, повышающих качество сварных швов, снижающих трудоёмкость и себестоимость изделий. Указанные рекомендации применимы при отсутствии ограничений для выбранного способа сварки и свариваемости металлов. Конструктивные формы свариваемых элементов должны соответствовать требованиям проведения сварочного процесса.

3.5.6. Способы уменьшения сварочных напряжений и деформаций

При сварке металлов в процессе их нагрева и последующего охлаждения возникают значительные температурные напряжения, а после охлаждения изделия — остаточные напряжения. Изменения формы и размеров заготовок при сварке, условно называемые сварочными деформациями, приводят к снижению их точности и назначению больших припусков на механическую обработку. В процессе механической обработки сварных заготовок с высокими остаточными сварочными напряжениями возможны дополнительные деформации. Кроме того, сварочные напряжения могут снижать работоспособность сварных узлов в условиях низких температур и динамических нагрузок.

Основные причины, вызывающие напряжения и деформации при сварке, следующие:

- неравномерный нагрев;
- усадка наплавленного металла при переходе его из жидкого состояния в твёрдое;
- структурные изменения наплавленного или основного металла в зоне термического влияния, сопровождающиеся изменением объёма.

Напряжения, возникающие вследствие структурных изменений в металле имеют большое значение только для сталей, склонных к закалке, так как образование мартенсита при закалке ведёт к увеличению объёма металла. Эти напряжения могут суммироваться в отдельных участках зоны термического влияния и приводить к образованию в наименее прочных местах трещин.

Величина деформаций и остаточных напряжений в значительной степени зависит от формы деталей, их размеров и расположения зоны нагрева при сварке.

Менее выраженные напряжения и деформации возникают при сварке электрической дугой деталей, простых по форме. Газовая сварка вызывает повышенные деформации вследствие большой зоны термического влияния.

К основным мерам борьбы с напряжениями, возникающими при сварке, относят: предварительный подогрев изделий перед сваркой, замедленное охлаждение, отжиг стальных изделий при температуре 550...650 °С, лёгкую проковку шва ударами молотка для многослойных швов. При этом могут образоваться мелкие трещины, которые завариваются последующими наваренными слоями.

Для борьбы с деформацией металла при сварке можно рекомендовать:

- 1) обратноступенчатый порядок нанесения швов, при котором длинный шов делится на участки длиной 150...200 мм и сварка ведётся отдельными участками, что препятствует концентрации тепла в одном месте и уменьшает зону разогрева изделия;

- 2) деформирование детали перед сваркой в обратном направлении на ту же величину деформации, которая вызывается сваркой; этот способ обычно применяют для изделий с несимметричным расположением швов;
- 3) уравнивание деформаций, т.е. выбор такого порядка наложения швов, чтобы последующий шов вызывал деформации, обратные тем, которые получились при наложении предыдущего шва;
- 4) увеличение отвода тепла от свариваемого изделия, которое уменьшает объём нагретого металла и соответственно его деформацию. Охлаждение достигается погружением частей детали в воду или применением медных подкладок под деталь;
- 5) жёсткое закрепление заготовок при сварке различных узлов в специальных приспособлениях.

Последний способ, хотя и уменьшает деформацию, но увеличивает внутренние напряжения, которые устраняются последующим отжигом.

Для уменьшения сварочных напряжений нельзя допускать скопления сварных швов и их пересечений друг с другом; следует применять способы сварки, обеспечивающие минимальные разогревы заготовок и зону пластических деформаций около сварного шва. Необходимо предусматривать после сварки высокий отпуск при 550...680 °С в течение нескольких часов, назначать прокатку или проковку сварных швов и околошовной зоны (эффективно для толщин до 10 мм). Величина деформаций и напряжений также в значительной степени зависят от формы деталей, их размеров и зоны нагрева при сварке.

3.6. Обеспечение качества сварных соединений

Как уже отмечалось ранее в разделе 1.8, обеспечение качества продукции включает в себя методы и виды деятельности управленческого и производственного характера, используемые для выполнения требований к качеству. В со-

ответствии со стандартом ГОСТ Р 9001-2008 на предприятиях разрабатывается и поддерживается в функциональном состоянии система обеспечения качества продукции. Эти стандарты входят непосредственно в производственные процессы, сферу управления и устанавливают чёткие требования к системам обеспечения качества. Внедрение систем качества, основу которых составляет управление и обеспечение жизненного цикла продукции предприятия на всех стадиях её существования, обуславливает внедрение статистических методов управления качеством продукции. Эти методы связаны с анализом дефектов изделий, отклонений от заданных количественных характеристик и их регистрации. Конечным результатом такого анализа является выработка управляющих действий для повышения качества продукции. Корректирующие и управляющие действия вырабатываются на всех стадиях жизненного цикла продукции. Одним из важнейших методов статистического управления процессом является диаграмма Парето, в основе построения которой лежат результаты анализа дефектов изделий.

К основным дефектам сварных швов относят:

- 1) **непровар** — отсутствие соединения между металлом изделий и наплавленным металлом или недостаточная глубина проникновения наплавленного металла в основной. Причина — неправильно выбраны режимы сварки;
- 2) **пережог** — окисление металла шва и прилегающего к нему основного металла. Причины — сильно окислительная среда, большая длина дуги, замедленное движение источников нагрева, интенсивный режим сварки;
- 3) **прожог** — местное сквозное проплавление свариваемых частей при электродуговой сварке. Причины — большая сила тока, недостаточная толщина металла, малая величина притупления кромок;
- 4) **подрез** — углубление вдоль шва на основном металле. Причины — неравномерная подача присадочного

прутка, неправильное положение электрода или горелки, избыток подводимого тепла;

- 5) **наплывы на швах.** Причины — неправильно выбраны режим и скорость сварки;
- 6) **пористость** — появление свищей, газовых пузырей или шероховатости на поверхности шва. Причины — газы в металле, вода в обмазке или флюсе, ржавчина на свариваемых кромках или присадочном металле;
- 7) **шлаковые включения** в металле. Причины — загрязнение основного и присадочного металла окислами, которые получают в результате неравномерности плавления электродного покрытия, тугоплавкости и повышенной вязкости шлаков и недостаточного раскисления металла шва;
- 8) **трещины шва.** Причина — большие усадочные и структурные напряжения в металле (например, образование мартенсита), повышенное содержание серы, фосфора и углерода в металле, чрезмерно жёсткое закрепление свариваемых деталей. Трещины бывают продольными и поперечными в металле шва или зоне термического влияния. Они могут быть макро- и микроскопическими, горячими и холодными;
- 9) **кратеры** — углубления в конце шва. Причина — обрывы дуги. Они уменьшают рабочее сечение шва и снижают его прочность;
- 10) **несплавление** — несплошности на свариваемых поверхностях или кромках материалов. Причина — недостаточная температура сварочной ванны.

Все указанные дефекты встречаются главным образом при сварке плавлением. При сварке давлением и пайке возникают типичные дефекты: пережог металла, непровар, несплавление, пористость, кольцевые и продольные трещины.

В повседневной деятельности предприятия, несмотря на увеличение усилий по повышению качества выпускаемой продукции, возможно появление брака.

Поиски решений по устранению брака начинают с классификации видов брака по отдельным факторам (операциям) с целью выявления основных, связанных с наибольшими затратами. Для этого используют различные методы, один из которых имеет важное прикладное значение на основе построения и анализа диаграмм Парето. По своему содержанию диаграммы Парето представляют собой разновидности столбчатых гистограмм с нанесёнными на них кумулятивными графиками суммированных значений в целях наглядного отображения рассматриваемых факторов в порядке уменьшения характеристик их значимости.

Построение диаграммы Парето начинают с осуществления ранжирования факторов влияния в порядке уменьшения их значимости. Затем на горизонтальной оси диаграммы строят равномерно расположенные столбцы, соответствующие факторам влияния. На диаграмму справа наносят дополнительную ординату (вертикальную ось) с процентной шкалой и вычерчивают кумулятивную кривую, которая представляет собой графическое изображение постепенного суммарного вклада каждого фактора влияния в суммарный стопроцентный эффект при переходе от первого столбца (первого фактора влияния) к последнему. Кумулятивная кривая начинается от начала координат и проходит через верхний правый угол первого столбца. Столбцы могут примыкать друг к другу и к левой ординате или располагаться на некотором расстоянии друг от друга и правой ординате. Последующие точки кривой наносят на вертикалях, являющихся продолжением правых боковых сторон столбцов.

В. Парето сформулировал принцип или «правило 80-20» заключающийся в том, что примерно восемьдесят процентов проявлений, например брака, вызвано двадцатью процентами факторов влияния (причин). Анализ диаграмм Парето с кумулятивной кривой позволяет выявить эти 20 % причин. Этот анализ называют анализом Парето или ABC-анализом.

При использовании диаграмм Парето составляющие, по которым проводится анализ, делят на три группы: А, В, С.

В первую группу выделяют три фактора, которые по своей величине превосходят все остальные и располагают в порядке убывания их значений.

Во вторую группу включают три последующих фактора, каждый из которых в убывающем порядке входит в группу В.

В третью группу заносят все остальные факторы, выделяя в качестве последнего фактора группу «прочие факторы», т.е. те, которые не удалось разделить на составляющие. Общий вид диаграммы Парето представлен на рисунке 3.27.

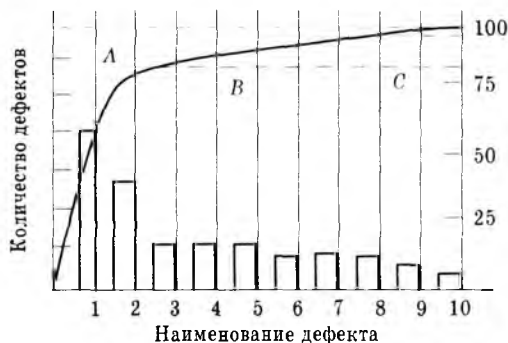


Рис. 3.27. Диаграмма Парето

При контроле качества сварных изделий применяют различные способы разрушающего и неразрушающего контроля сварных швов для выявления дефектов.

Методы разрушающего контроля. Разрушающие испытания проводят обычно на контрольных образцах, реже на моделях и на самих изделиях. Контрольные образцы сваривают из того же материала и по той же технологии, что и сварные соединения изделий. К разрушающим методам контроля относятся: механические испытания, металлографические исследования, химический анализ, коррозионные испытания, исследования на свариваемость. Эти испыта-

ния позволяют получить числовые данные, характеризующие прочность, качество и надёжность соединений.

Механические испытания соединений и металла шва проводят на растяжение, изгиб, сплющивание и т.п. По характеру нагрузки предусматривают статистические, динамические и усталостные испытания.

Металлографические исследования проводят на микро- и макрошлифах, вырезанных из сварного соединения. На микрошлифах определяют микроструктуру шва и околошовной зоны, размеры зерна, а также выявляют микроскопические трещины и поры.

На макрошлифах выявляют границы шва и зоны термического влияния, макроскопическое строение сварного шва, размеры и направление кристаллитов, а также дефекты в сварном шве: несплавление, непровар, неметаллические включения, газовые поры и трещины.

Химический анализ проводят для контроля состава основного металла шва и сварочных материалов (электродной проволоки или наплавленного металла). Пробы отбирают в виде стружки.

Коррозионные испытания проводят для определения коррозионной стойкости сварного соединения при работе в различных средах. Испытания проводят на общую и межкристаллитную коррозию.

Неразрушающие методы контроля. К таким методам контроля относят: контроль на непроницаемость (керосином, сжатым воздухом, вакуумированием, гидравлическими течеискателями), магнитный и электромагнитный, люминесцентный, радиационный, ультразвуковой и магнитографический.

Испытание швов керосином проводят на открытых сосудах: резервуарах, цистернах и т.п. Способ основан на высокой проникающей способности керосина, швы покрывают меловой обмазкой с внешней стороны. С внутренней стороны швы смачивают керосином. Дефекты выявляются на окрашенной мелом стороне в виде ржавых полос и пятен.

Испытание сжатым воздухом. Эти испытания проводят для контроля общей герметичности сосудов. Негерметичность определяют по спаду давления при выдержке в течение 10...100 ч. Испытательное давление выбирают равным 1...1,2 от рабочего.

Испытание мыльной пеной. Изделие наполняют воздухом или азотом, с наружной стороны обмазывают мыльной пеной. Дефекты выявляют по появлению пузырьков. Можно вместо мыльных растворов применить специальные материалы.

Способ погружения. Изделие наполняют воздухом до избыточного давления (0,03...0,3 МПа) и погружают в воду. Негерметичность шва определяют по выходящим пузырькам воздуха.

Способ вакуумирования. На изделие накладывают камеру с прозрачным верхом. Перед установкой камеры шов смачивают мыльным раствором. В камере создают вакуум 0,01...0,06 МПа. Дефекты выявляются в виде пузырьков.

Гидравлические испытания. Эти испытания позволяют определить плотность и прочность сварных швов. Испытания проводят с полным или частичным наполнением изделий водой, с полным заливом и дополнительным давлением от напорной трубки, с полным заливом и созданием давления около 1,5...2 от рабочего. Изделие выдерживают в таких условиях требуемое время, затем осматривают. Течи выявляются в виде струек и потений. Для повышения чувствительности контроля используют водные растворы, обладающие повышенной проникающей способностью, а также растворы с радиоактивными добавками. В этом случае радиационные индикаторы выявляют мелкие течи.

Испытание течеискателями. Применяют гелиевые или галоидные течеискатели. При применении гелиевых течеискателей внутри испытуемого изделия создают вакуум, а снаружи сварные швы обдувают смесью воздуха с гелием. При наличии неплотностей гелий проникает внутрь сосуда,

и затем поступает в течеискатель, где имеется специальная аппаратура для его обнаружения. При применении галоидных течеискателей внутри испытуемого сосуда создают избыточное давление и вводят галоидный газ. Газ проникает через неплотности в шве, отсасывается снаружи сосуда и поступает в специальную аппаратуру. По наличию галоидного газа определяют неплотность шва.

Радиационные методы контроля (рентгеновскими и γ -лучами). Сущность контроля рентгеновскими и γ -лучами заключается в том, что они по-разному поглощаются при прохождении через дефектные и бездефектные участки сварных швов. Существуют четыре способа фиксации выявления лучами дефектов сварки:

- 1) флюороскопический путём рассмотрения дефектов на экране;
- 2) рассмотрение дефектов на экране электронного оптического преобразователя;
- 3) фотографический с фиксацией дефектов на фотоплёнке;
- 4) ионизационный.

Наиболее распространённым является фотографический способ. Рентгеновские лучи, проходя через испытываемый сварной шов, будут частично поглощаться и действовать на находящуюся за ним фотоплёнку, экран или ионизационную камеру. Дефектные места видны как почернения различной величины и формы соответственно характеру дефекта. В промышленности для просвечивания изделия применяют серийные рентгеновские аппараты типа РУП.

Магнитные методы контроля сварных соединений. После сварки ферромагнитных магнитопроводящих металлов намагничивают сварные швы. Если в таком сварном шве на пути магнитного потока встречается трещина, разъединяющая металл газовым зазором, то она нарушает закономерность прохождения магнитного потока вследствие различной магнитной проницаемости металла и трещины. Там, где над дефектом образуется поток рассея-

ния, магнитные силовые линии огибают дефект, выходят наружу и идут обратно в изделие, в результате чего возникают разноимённые полюсы. Задачей магнитного метода контроля является улавливание образовавшихся за дефектами магнитных потоков рассеяния. В намагниченном металле дефекты, вызвавшие образование потоков рассеяния, выявляют магнитным порошком или индукционными искателями.

Люминесцентный метод контроля применяют для выявления поверхностных дефектов, главным образом трещин в сварных швах на немагнитных материалах: нержавеющих и жаропрочных сталях, алюминиевых и магниевых сплавах. Метод основан на свойстве некоторых жидкостей флюоресцировать, то есть светиться под действием ультрафиолетовых лучей. Флюоресцирующий состав проникает в невидимые глазом мелкие трещины в сварном шве и при облучении ультрафиолетовыми лучами люминесцирующая жидкость светится ярким желто-зелёным светом.

Ультразвуковая дефектоскопия сварных швов. Ультразвуковая дефектоскопия заключается в подаче на сварной шов изделия ультразвуковых колебаний, генерированных пьезоэлементом (кварцевой пластинкой) с помощью электрических колебаний. Дефекты шва являются препятствием для колебаний с ультразвуковой частотой, так как они рассеивают и отражают эти колебания. Отражённые колебания принимаются этим же или другим пьезоэлементом, превращаются в электрические колебания, усиливаются и передаются на катодную трубку, где их наблюдают в виде импульсов различной величины. При помощи ультразвука можно выявлять в шве трещины, непровар, поры самых малых размеров. По принципу отражения ультразвуковых волн работают ультразвуковые дефектоскопы, с помощью которых можно обнаружить дефекты, расположенные на глубине 1...2500 мм под поверхностью.

Внешний осмотр и проверка размеров шва. Здесь выявляют подрезы, раковины, свищи, трещины, поры, незаплавленные кратеры, неравномерность шва и несоответствие размеров. Дефектом формы швов считается несоответствие геометрических размеров шва заданным размерам из-за нарушения технологии сварки.

3.7. Контрольные вопросы

1. Что представляет собой сварка?
2. В чём состоит физическая сущность сварки?
3. Что представляет собой электрическая дуга?
4. Какие способы сварки плавлением применяют в производстве?
5. Какие свойства электрической дуги и её характеристики используются в сварке?
6. Какие особенности имеются при ручной электродуговой сварке?
7. Зачем применяются обмазка на электродах и флюсы при сварке?
8. В чём заключаются особенности техники ручной сварки?
9. Какие существуют способы повышения производительности электродуговой сварки?
10. Какова сущность автоматической и полуавтоматической сварки под слоем флюса?
11. Какие основные отличия электрошлаковой сварки от других видов электросварки?
12. Какие газы применяют при сварке?
13. Как проводится сварка в среде защитных газов?
14. Как проводится газовая сварка?
15. Для чего применяют присадочные материалы?
16. Какие виды сварки давлением применяются в производстве?
17. В чём заключается механизм возникновения сварочной точки при точечной контактной сварке?

18. Как проводится контактная сварка сопротивлением?
19. Как проводится контактная сварка оплавлением?
20. Как проводится газопрессовая сварка?
21. Как проводится сварка электронным лучом?
22. Как проводится ультразвуковая сварка?
23. Каковы особенности сварки сталей и чугунов?
24. Каковы особенности сварки цветных металлов и сплавов?
25. Что называют технологичностью сварного соединения?
26. Какие виды сварных соединений и сварочных швов применяют при сварке заготовок?
27. Как обеспечивается качество сварных соединений и сварочных швов?
28. В чём заключается особенность применения диаграммы Парето для повышения качества сварных соединений?

ГЛАВА 4. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

4.1. Слесарные работы: рубка, правка, резка, гибка, опиливание, шабрение, притирка

4.1.1. Рубка заготовок

Рубкой называется слесарная операция предварительной (грубой) обработки заготовок с помощью режущего инструмента — зубила, крейцмейселя или канавочника с точностью не превышающей 0,5...1,0 мм. Рубку производят в тех случаях, когда по условиям производства станочная обработка трудновыполнима или нерациональна и когда не требуется высокая точность обработки. Рубку применяют для удаления излишних слоёв металла, при разделении заготовки на части, при обрубке литья и сварных швов, при вырубании заготовок из листового материала, при прорубании пазов, канавок и отверстий.

Рубку мелких заготовок производят в тисках, крупные заготовки рубят на плите или наковальне, особо крупные — на том месте, где они находятся.

Зубило слесарное (рис. 4.1, а) состоит из трёх частей: рабочей 3, средней 2 и ударной (бойка) 1. Рабочую часть зубила, заканчивающуюся клиновой режущей частью 4, и боек подвергают закалке и отпуску. После термической обработки режущая кромка должна иметь твёрдость HRC 55...60; боек — HRC 35...40. Зубила изготовляют длиной 100...200 мм, ширину режущей кромки соответственно выбирают в пределах 5...25 мм. Величина угла заострения принимается в зависимости от обрабатываемого материала и получается заточкой на заточном станке в соответствии с данными, приведёнными в таблице 4.1.

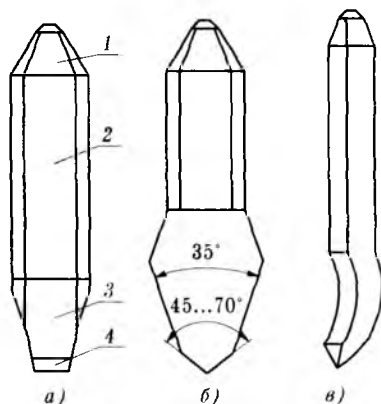


Рис. 4.1. Инструменты для рубки:
а — зубило; *б* — крейцмейсель; *в* — канавочник;
 1 — боёк; 2 — средняя часть; 3 — рабочая часть;
 4 — режущая часть

Таблица 4.1

Углы заострения зубила

№ п/п	Обрабатываемый материал	Угол заострения, град.
1	Твёрдые материалы (чугун, сталь, бронза)	70
2	Материалы средней твёрдости (сталь)	60
3	Мягкие металлы (медь, латунь)	45
4	Алюминиевые сплавы и цинк	35

Чем меньше угол заострения, тем меньшую силу необходимо приложить для резания, однако чем больше твёрдость и хрупкость обрабатываемого металла и сильнее сопротивление проникновению в него клина, тем прочнее должны быть режущая кромка и больше угол заострения. Головка зубила — боёк делается всегда в виде усечённого конуса с выпуклым верхним основанием, так как в этом случае наносимый молотком удар приходится по центру головки зубила. Конусная головка, кроме того, меньше расклёпывается при работе.

Крейцмейсель (рис. 4.1, б) отличается от зубила более узкой режущей кромкой. Применяется для вырубления узких канавок, пазов и т.п. Чтобы крейцмейсель не заклинивался, углубляясь в канавку, его режущую кромку делают несколько шире рабочей части. Крейцмейсель используется также для срубания слоя металла на широкой поверхности. Для этого вначале им прорубают ряд параллельных канавок с последующим срубанием обычным зубилом гребенчатых выступов, получившихся после работы крейцмейселем.

Углы заточки, твёрдость рабочей и ударной части крейцмейселя те же, что и у зубила. Канавочники (рис. 4.1, в) отличаются от крейцмейселя только изогнутой формой рабочей части. Применяются канавочники для вырубления смазочных канавок во вкладышах и втулках подшипников скольжения и для других работ. Режущие кромки канавочников изготавливаются остроконечными и полукруглыми.

При рубке большое значение имеет положение корпуса слесаря относительно тисков. Он должен стоять вполоборота к ним и несколько левей тисков.

Качество и производительность рубки зависят от вида удара молотком. Различают три вида удара молотком — кистевой, локтевой и плечевой. Перед началом рубки необходимо выполнить тренировочные упражнения по нанесению различных ударов молотком. При кистевом ударе изгибается только кисть, как правило, правой руки. Таким ударом пользуются при выполнении лёгкой и точной работы: снятие тонких слоёв металла, удаление небольших неровностей, рубка тонкой листовой стали и т.п. При локтевом ударе рука изгибается в локте и удар получается более сильным. Этим ударом пользуются при обычной рубке, снятии слоя металла средней толщины, прорубании пазов и канавок. При плечевом ударе рука движется в плече, при этом получается большой замах и максимальная сила удара. Плечевой удар применяют при рубке толстого металла, удалении большого припуска за один проход, обработке боль-

ших плоскостей. Частота замахов молотком в минуту должна быть 40...60 при кистевом ударе, при локтевом и плечевом ударах 30...40. При рубке молоток берут правой рукой за рукоятку на расстоянии 20...30 мм от конца так, чтобы четыре пальца охватывали рукоятку, а большой палец был наложен на указательный. Зубило надо держать левой рукой, не сжимая сильно пальцы, на расстоянии 20...30 мм от его головки. При рубке металла большое значение имеет установка оси зубила к обрабатываемой поверхности заготовки. Угол между заготовкой (плоскостями губок тисков) и осью зубила должен быть равен 45° , угол наклона зубила зависит от угла заострения режущей кромки и должен составлять 30...35°. При меньшем угле наклона зубило скользит, а не режет, а при большем излишне углубляется в металл и оставляет большую неровность обработанной поверхности. В процессе рубки руки должны действовать согласовано. Правой рукой нужно точно ударять молотком по зубилу, левой в промежутках между ударами перемещать зубило по металлу. При ударе следует смотреть не на головку, а на режущую кромку зубила.

При рубке полосового и листового металла по уровню губок тисков часть заготовки, уходящая в стружку, должна быть над губками тисков, риска разметки находится точно на уровне губок без перекоса, в начале рубки заготовка не должна выступать за правый торец губок, рубку следует вести локтевым ударом. Если разметочные риски находятся выше уровня губок, угол между осью зубила и обрабатываемой поверхностью следует периодически уменьшать, чтобы зубило излишне не углублялось в металл.

При срубании слоя металла на широкой плоской поверхности заготовка или разметочные риски должны выступать над губками тисков на 5...10 мм. Крейцмейселем прорубают параллельные канавки шириной 8...10 мм. Ширина промежутков между канавками должна составлять 0,8 длины режущей кромки применяемого при работе зубила. Затем зубилом срубают образовавшиеся выступы. Толщина струж-

ки, снимаемая крейцмейселем за один проход, составляет 0,5...1 мм, а при срубании выступов зубилом — 1,5...2 мм. Чугун, бронзу и другие хрупкие металлы рубить, не доходя до противоположного края заготовки. Недорубленные места следует рубить с противоположной стороны или предварительно сделать скос под углом 45°.

Вырубание пазов и криволинейных смазочных канавок производят в такой последовательности: сначала на обрабатываемую поверхность заготовки наносят риски, затем крейцмейселем прорубают канавки глубиной 1,5...2 мм за каждый проход. Оставшиеся после рубки неровности устраняют канавочником, придавая пазам одинаковую ширину и глубину по всей длине заготовки.

При вырубании фигурной заготовки на плите или наковальне работу выполняют в такой последовательности. Отступив от разметочных рисок на 2...3 мм, лёгкими ударами по зубилу надрубают контур. Затем сильными ударами по зубилу рубят лист по контуру. Если лист достаточно толстый, то, перевернув его, прорубают зубилом по контуру, ясно обозначившемуся на противоположной стороне. Затем вновь переворачивают лист на первую сторону и заканчивают рубку. При вырубании заготовки с криволинейными контурами необходимо пользоваться зубилом с закруглённым лезвием или крейцмейселем.

Заточку зубил и крейцмейселей производят на заточных (точильных) станках. Для заточки инструмента из инструментальных сталей (углеродистой, легированной и быстрорежущей) применяют шлифовальные круги из электрокорунда зернистостью 40, 50 или 63 на керамической основе. Перед началом работы надо установить подручник заточного станка таким образом, чтобы зазор между ним и периферией шлифовального круга не превышал 2...3 мм, опустить защитный экран и включить заточной станок. Взяв зубило в обе руки и опираясь левой рукой на подручник, расположить зубило под углом 30...40° к периферии круга и с лёгким нажимом медленно перемещать его по всей ши-

рине круга. В процессе заточки зубило следует периодически поворачивать то одной, то другой стороной, чтобы обеспечить равномерную и симметричную заточку. После кратковременного контакта зубила с кругом его опускают для охлаждения в воду. Нельзя допускать сильных нажимов на затачиваемый инструмент, так как это приводит к перегреву режущей кромки и потере его первоначальной твёрдости, полученной при термической обработке. Боковые грани зубила после заточки должны быть плоскими, одинаковыми по ширине и с одинаковыми углами наклона. Угол заострения проверяют шаблоном, на котором имеются угловые вырезы 70, 60, 45 и 35°. После заточки мелкозернистым абразивным бруском снимают заусенцы (заправляют лезвие).

4.1.2. Правка заготовок

Правка (рихтовка) представляет собой операцию по подготовке заготовки к последующей технологической обработке. Она предназначена для устранения искажений формы (вмятин, выпучиваний, волнистости, коробления, искривления и т.п.) путём пластического деформирования листовой или пластинчатой заготовки. Металл подвергается правке как в холодном, так и в нагретом состоянии. Правку можно выполнять ручным способом на стальной или чугунной плите или на наковальне, машинную правку производят на прессах и правильных вальцах.

Для правки применяют стальные молотки с круглыми полированными бойками, так как молотки с квадратными бойками оставляют следы в виде вмятин. Для первоначальной (грубой правки) бойки должны иметь выпуклую сферическую поверхность с малым радиусом кривизны. Для более тонкой работы (выглаживания) применяют выпуклые бойки с большим радиусом кривизны. Для окончательной доводки применяют молотки с плоскими бойками с закруглёнными кромками. При правке деталей с окончательно

обработанной поверхностью или тонкого листового материала из стали, цветных металлов и сплавов применяют молотки из меди, латуни, свинца, дерева. В качестве вспомогательного инструмента используют гладилки, поддержки (металлические или деревянные бруски) для правки тонкого листового и полосового металла, правильные бабки для закалённых деталей, имеющих цилиндрическую, сферическую и иную фасонную поверхности.

Кривизну заготовок проверяют на глаз или по зазору между плитой и уложенной на неё заготовкой. Изогнутые места отмечают мелом. Правку производят на правильной плите или наковальне. Простейшей операцией является правка плоской длинной заготовки, изогнутой в виде волн (рис. 4.2, а). В этом случае молотком или кувалдой наносят сильные удары по наиболее выпуклым местам полосы, уменьшая силу удара по мере выпрямления. Выпрямляемую заготовку периодически перевёртывают с одной стороны на другую по мере необходимости. Более сложной операцией является правка полосовой заготовки с криволинейными рёбрами. Если в первом случае правка заключалась в простом выравнивании полосы, то здесь прибегают к выпрямлению полосы с помощью пластического растяжения части металла. Правку полос, имеющих скрученный (спиральный) изгиб, рекомендуется производить методом раскручивания. Для этого один конец заготовки

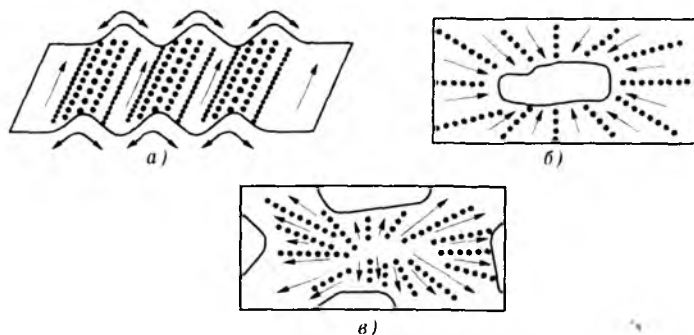


Рис. 4.2. Правка листового материала

зажимают в слесарные тиски, а на втором конце закрепляют ручные тисочки. Затем рычагом выпрямляют спиральную кривизну. При необходимости окончательную правку проводят на плите. Результаты правки (прямолинейность заготовки) проверяют на глаз, а для более точной проверки — на разметочной или контрольной плите по просвету, наложением линейки на полосу или щупом.

Правка листового материала — более сложная операция. Она зависит от вида дефекта, например, от такого, как выпуклости или вмятины в середине листа или заготовки, волнистости краёв и кромок заготовки, совместного присутствия выпуклых участков и волнистости кромок листа. Предварительно обводят мелом или карандашом волнистые участки на заготовке, затем кладут её на плиту выпуклостью вверх так, чтобы заготовка лежала всей поверхностью на плите. Придерживая лист левой рукой в рукавице, правой наносят молотком удары от края листа по направлению к выпуклости (как показано стрелками на рис. 4.2, б), по мере приближения к выпуклости удары наносят слабей и чаще. Во время правки заготовку поворачивают в горизонтальной плоскости так, чтобы удары равномерно распределялись кругом по всей площади заготовки. Если на листе имеется несколько выпуклостей, то удары наносят в промежутке между выпуклостями. В результате этого лист растягивается, и все выпуклости сводятся в одну общую, которую выправляют указанным выше способом. Если лист имеет волнистость по краям, но плоскую и ровную среднюю часть, то удары молотком наносят от середины листа к краям (рис. 4.2, в). От воздействия этих ударов лист в середине вытягивается, и волны вдоль кромок листа исчезают. После этого лист следует перевернуть и продолжать правку таким же способом до получения требуемых допусков прямолинейности и плоскостности. Правку тонких листов производят деревянными молотками-киянками, а очень тонкие листы проглаживают деревянным или металлическим бруском-гладилкой (как утюгом), придержи-

вая их на плите левой рукой. При правке лист периодически переворачивают. Правку закалённых заготовок, иногда называемую рихтовкой, вызванную короблением при термической обработке, проводят различными молотками с закалённым бойком или специальным молотком с закруглённой узкой стороной бойка. Удары наносят не по выпуклой, а по вогнутой стороне заготовки. Таким приёмом достигается растяжение волокон металла на вогнутой стороне заготовки и её выпрямление. Правку заготовок более сложной формы, например угольника, у которого после закалки изменился угол между измерительными сторонами, производят следующими способами: если угол стал меньше 90° , то удары молотком производят у вершины внутреннего угла (рис. 4.3, а), если угол стал больше 90° , то удары наносят у вершины наружного угла (рис. 4.3, б).

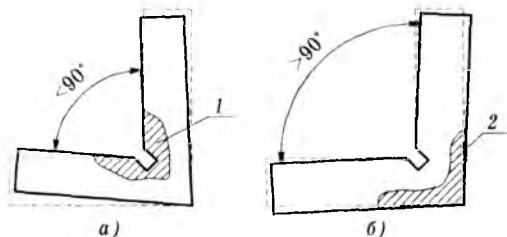


Рис. 4.3. Схема правки угольника:

а — угол между измерительными сторонами меньше 90° ;

б — угол между измерительными сторонами больше 90° ;

1, 2 — места нанесения правящих ударов

4.1.3. Резка заготовок

Резка металла представляет операцию разделения на части круглого, полосового, профильного проката, а также труб ручным и механическим способом.

Ручную резку заготовок в зависимости от профиля и площади сечения производят различными инструментами: ножовками, ножницами (ручными, стуловыми, рычажными), труборезами и газопламенными горелками.

Ручная ножовка является наиболее распространённым инструментом для резки толстых листов, полосового и профильного металла. Она может быть использована также для прорезания пазов, шлицов, обрезки заготовок и контурного вырезания элементов и т.п. Она состоит из рамки (ножовочного станка), подвижной головки, винта с гайкой для натяжения ножовочного полотна и неподвижной головки с хвостовиком и рукояткой (рис. 4.4, *а*). Рамки ножовки бывают цельной и раздвижной конструкции.

Ножовочное полотно представляет собой тонкую и узкую стальную пластину с зубьями на одном ребре. Каждый зуб ножовочного полотна (рис. 4.4, *б*) имеет форму клина (резца), на котором различают углы (α , γ и др.), характерные для любого металлорежущего инструмента.

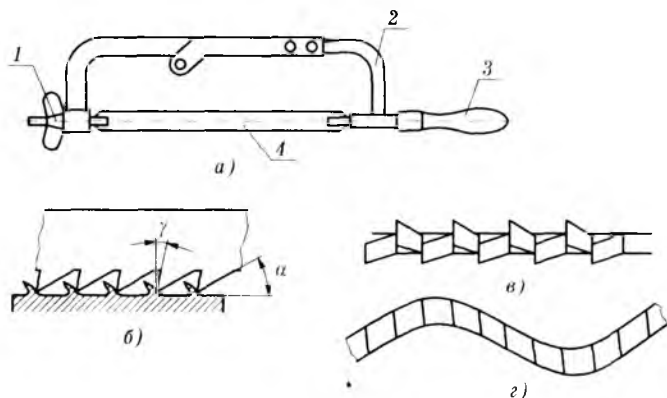


Рис. 4.4. Ручная ножовка и схема элементов ножовочного полотна:

- а* — ножовка в сборе; *б* — углы зубьев ножовочного полотна;
в, *г* — схемы разводки зубьев ножовочного полотна;
1 — натяжной винт с гайкой; *2* — рамка; *3* — ручка;
4 — ножовочное полотно

Для уменьшения трения ножовочного полотна о стенки разрезаемого металла зубья его разводят в разные стороны, увеличивая таким приёмом ширину пропила. Зубья с большим шагом отгибают по одному поочерёдно вправо и

влево (рис. 4.4, *в*), зубья с малым шагом отгибают по два-три вправо и по два-три влево, при этом на ребре ножовочного полотна образуется волнистая линия (рис. 4.4, *г*).

При разрезке металла ножовкой корпус слесаря необходимо развернуть вправо под углом 45° к оси тисков, то есть как при рубке металла.

Прежде чем приступить к разрезке металла, необходимо выбрать ножовочное полотно с учётом твёрдости, формы и размеров разрезаемого металла и, вставив его в рамку, затянуть натяжным винтом. Степень натяжения проверяют лёгким нажатием пальца на полотно сбоку: если полотно не прогибается, то напряжение достаточное. Рукоятку ножовки охватывают пальцами правой руки, конец рукоятки при этом должен упираться в середину ладони, а большой палец лежать вдоль рукоятки сверху.

Левой рукой берут рамку ножовки так, чтобы большой палец находился внутри рамки, а остальные охватывали натяжной винт подвижной головки. Во время разрезки ножовку следует держать в горизонтальном положении. Двигать её следует плавно, без рывков, производя 30...60 двойных ходов в минуту. Во время движения ножовки вперёд, её следует слегка прижимать к заготовке. Длина хода ножовки должна быть такой, чтобы в процессе резания принимало участие не менее $2/3$ её длины, а не только её средняя часть. Тонкий материал для разрезки ножовкой зажимают в тиски между двумя деревянными брусками и разрезают вместе с ними.

Механические ножовки (рис. 4.5) предназначены для разрезания сортового и профильного проката и труб диаметром до 300 мм. Заготовка 6, установленная на столе 2, разрезается ножовочным полотном 5, установленным в пильную раму 3, совершающую возвратно-поступательное движение при помощи кривошипно-шатунного механизма (на рисунке не показан) от электродвигателя 8, установленного на станине 1 станка. Пильная рама перемещается по направляющим хобота 4. В процессе резания ножовочное полотно охлаждается эмульсией, поступающей по трубке 7.

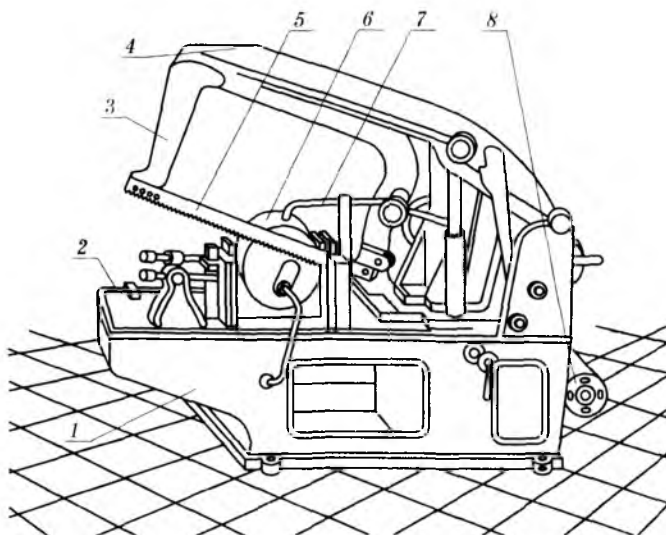


Рис. 4.5. Механическая ножовка:
 1 — станина; 2 — стол; 3 — пильная рама; 4 — хобот;
 5 — ножовочное полотно; 6 — заготовка;
 7 — трубка подвода эмульсии; 8 — электродвигатель

4.1.4. Гибка заготовок

Гибка — одна из наиболее распространённых слесарных операций. Её применяют для придания заготовке изогнутой формы по заданному контуру. В процессе гибки металл подвергается одновременному действию растягивающих и сжимающих сил, поэтому в этом процессе необходимо учитывать механические свойства металла, его упругость, степень деформирования, толщину, форму и размеры сечения заготовки, углы и радиусы изгиба детали. Радиус изгиба детали не следует принимать близким к минимально допустимому, если это не диктуется конструктивными требованиями. Целесообразно не допускать радиус изгиба меньше толщины заготовки, так как уменьшение радиуса приводит к появлению трещин и других дефектов. В холодном состоянии рекомендуется изгибать детали из

листовок стали толщиной до 5 мм, из полосовой стали толщиной до 7 мм, из круглой стали диаметром до 10 мм.

Гибку полосы из листовой стали выполняют в следующем порядке: наносят риску загиба, зажимают заготовку в тисках между угольниками-нагубниками так, чтобы разметочная риска была обращена к неподвижной губке тисков и выступала над ней на 0,5 мм (рис. 4.6, *а*), и ударами молотка, направленными к неподвижной губке, загибают конец полосы (рис. 4.6, *б*). Для гибки скобы заготовку зажимают в тисках между угольником и бруском-оправкой, загибают выступающую часть (щеку) (рис. 4.6, *в*), затем, вложив внутрь скобы брусок-оправку требуемого размера, зажимают скобу в тиски на уровне рисок и отгибают вторую щеку (рис. 4.6, *г*). Гибка полосы под острым углом с применением специальной оправки со скошенной гранью показана на рисунке 4.6, *д*.

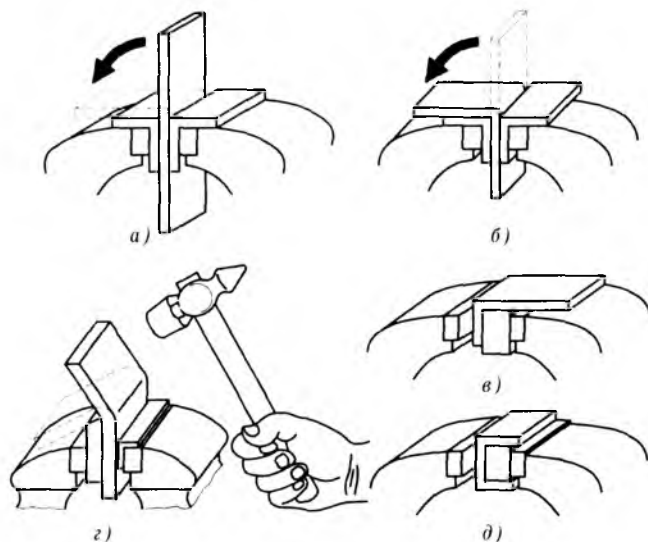


Рис. 4.6. Приёмы гибки полос:

- а* — исходное положение; *б* — сгибание выступающей части полосы в направлении к неподвижной губке тисков;
в — сгибание части скобы на бруске; *г* — сгибание второй части скобы на вложенном в неё бруске; *д* — сгибание полосы под острым углом на скошенном торце подкладного бруска

Гибку хомутика из тонкой полосовой стали выполняют в следующем порядке: зажимают в тисках оправку 1 требуемого диаметра (рис. 4.7, а), загибают заготовку 2 вокруг оправки двумя плоскогубцами 3. Затем отвороты хомутика зажимают в тисках с нагубниками 4, ударами через подкладку 5 добиваются плотного прилегания поверхности цилиндрической части хомутика к оправке и окончательно обрабатывают хомутик с помощью молотка на оправке в тисках и на плите (рис. 4.7, б, в).

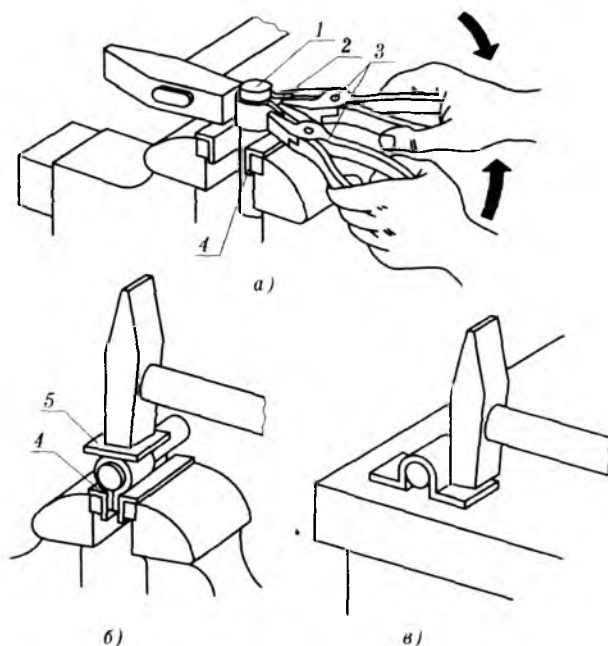


Рис. 4.7. Приёмы гибки хомутика:
1 — оправка; 2 — заготовка; 3 — плоскогубцы;
4 — нагубники; 5 — подкладка

4.1.5. Опиливание заготовок

Опиливанием называют слесарную операцию, при выполнении которой с заготовки снимают поверхностный слой

металла (припуск) с помощью режущего инструмента — напильника с целью придания изделию нужных форм, размеров и шероховатости.

Напильник представляет собой стальной закалённый брусок (рис. 4.8) определённого профиля с большим количеством насечек, образующих мелкие и острые зубья. По виду насечек напильники бывают с одинарной (однорядной) (рис. 4.8, *а*), двойной (перекрёстной) (рис. 4.8, *б*) и рашпильной насечкой (рис. 4.8, *в*).

Основную насечку напильника для обработки сталей делают под углом $\lambda = 25^\circ$, вспомогательную под углом $\omega = 45^\circ$, для обработки чугуна $\lambda = 20^\circ$, $\omega = 55^\circ$ (рис. 4.8, *б*).

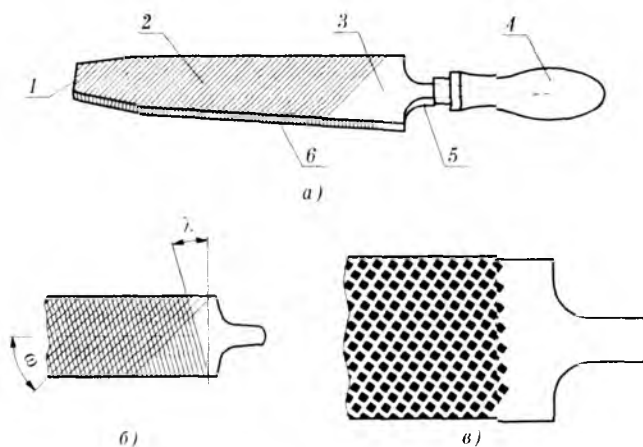


Рис. 4.8. Элементы напильника и виды насечек:

а — схема напильника с одинарной насечкой:

1 — нос; *2* — грань рабочей части; *3* — пятка;

4 — ручка; *5* — хвостовик; *6* — ребро;

б — двойная насечка; *в* — рашпильная насечка

Для обработки цветных металлов, пластмассы, дерева и других мягких материалов применяют напильники с одинарной насечкой ($\lambda = 5...30^\circ$).

По числу насечек напильники подразделяются на драчевые (крупная насечка) — для чернового опилования; лич-

ные (мелкая насечка) — для чистового опилования и бархатные — для отделочных работ (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Классификация напильников по номерам насечек

Тип напильника	Номер насечки	Число насечек на 10 мм длины при длине рабочей части напильника					
		100 и 125	160	200	250	315	400
Брусковый	0	—	—	—	—	—	4,5
Драчевые	1	14	12	10	8,5	7	6
Личные	2	20	17	14	12	10	8,5
	3	28	24	20	17	14	12
Бархатные	4	40	34	28	24	20	—
	5	56	48	40	34	28	—

Для грубого опилования свинца, цинка, баббитов, пластмасс, рога, резины и других материалов применяются рашпили. Рашпильная насечка отличается от насечки напильников значительно большей глубиной канавок. Каждый зуб насечки смещён относительно расположенного впереди зуба на половину шага. Такое расположение зубьев уменьшает глубину канавок, образующихся на опиловаемой заготовке, и облегчает процесс резания (зубья не забиваются стружкой).

Напильники малых размеров с мелкой насечкой называются надфилями. Они применяются для опилования мелких изделий с точными размерами, а также в местах, недоступных для обычных напильников. Надфили имеют такие же формы поперечного сечения, как и напильники: плоские, квадратные, трёхгранные, круглые, полукруглые, овальные, ромбические, ножовочные, пазовые.

Слесарные напильники общего назначения изготавливаются восьми типов: плоские (тупоносые и остроносые), квадратные, трёхгранные, полукруглые, круглые, ромбические и ножовочные. Длина напильников от 100 до 400 мм.

Качественное и высокопроизводительное выполнение опи-ливания зависит от правильного положения корпуса, согласо-ванности движения рук и от усилия, прилагаемого к на-пильнику. Заготовку для опиливания закрепляют в тисках так, чтобы обрабатываемая поверхность находилась в гори-зонтальной плоскости на высоте 10 мм над уровнем губок.

Максимальный припуск на обработку драчевым напиль-ником — 1 мм, личным — 0,5 мм и бархатным — 0,05 мм.

Большие припуски снимают поперечным опиливанием при движении напильника вдоль своей оси, так как при этом напильник соприкасается с меньшей площадью обра-батываемой поверхности и легче врезается в металл.

Напильник перемещают обеими руками на всю его дли-ну со скоростью 40-60 двойных ходов в минуту. Рабочее движение (от себя) производится с нажимом, а обратное — без нажима. Движение напильника должно быть строго го-ризонтальным, чтобы избежать завалов по краям заготов-ки. Допускается в конце хода приподнимать напильник.

Продольное опиливание заготовки применяют после по-перечного для получения большей точности размеров и фор-мы обрабатываемой поверхности. Хорошие результаты до-стигаются при опиливании перекрёстным косым штрихом, то есть при расположении оси напильника под углом к на-правлению движения. Отделочное опиливание производят круговыми движениями напильника. Контроль обработки производят периодически приложением линейки, шаблона, угольника к обрабатываемой поверхности и рассмотрением зазора между ними на просвет.

Выпуклые криволинейные поверхности опиляют плос-кими напильниками вдоль и поперёк выпуклости. При опи-ливании вдоль выпуклости в начале движения правую руку одновременно с подачей напильника от себя опускают вниз, а носок напильника поднимают вверх. При поперечном опи-ливании выпуклой поверхности напильнику сообщают пря-молинейное движение с одновременным поворачиванием напильника по радиусу закругления.

Вогнутые поверхности опиливают круглыми, полукруглыми и овальными напильниками. Продольные движения напильника сочетают с некоторым поворотом его вокруг оси вправо или влево. Наиболее точным и производительным способом опиливания криволинейных поверхностей является опиливание по копиру или кондуктору.

Наиболее распространёнными видами брака при опиливании являются:

- появление бугров и завалов краёв на обработанной поверхности из-за недостаточных навыков обработки;
- несоблюдение размеров при опиливании из-за неправильной разметки или небрежной работы;
- появление задиров на поверхности из-за плохо очищенного напильника;
- повреждение поверхностей при зажимах в тисках из-за нарушения правил крепления заготовок.

Во избежание глубоких царапин при опиливании необходимо периодически удалять застрявшие в насечке опилки стальной щёткой. Перед опиливанием мягких и вязких материалов напильник рекомендуется натереть мелом для предохранения от забивания стружками, а при опиливании алюминия — стеарином.

Во избежание травм нельзя работать напильником без ручки или с поломанной ручкой и с поджатыми пальцами левой руки (под напильник), а также замасленными напильниками. Такой инструмент чистят сначала куском древесного угля или промывают в горячем растворе каустической соды, а затем очищают стальной щёткой.

4.1.6. Шабрение заготовок

Шабрением называется слесарная отделочная операция, применяемая для выравнивания и пригонки плоских и криволинейных (чаще цилиндрических) поверхностей для получения плотного прилегания их друг к другу. При шабрении снимают очень тонкие стружки металла специальным

инструментом — шабером. Эту обработку применяют при сборке и ремонте трущихся поверхностей сопрягаемых деталей — станин, суппортов, подшипников скольжения и поверхностей поверочных инструментов — плит, угольников, линеек и др. Так же, как и опилование, шабрение — одна из наиболее распространённых слесарных операций. Трудоемкость шабрения может достигать 20...25 % от общего объема ремонтных и сборочных работ. Широкое применение шабрения объясняется особыми свойствами полученной поверхности. Шабренная поверхность в отличие от шлифованной или полученной абразивной притиркой, является более износостойкой, так как не имеет шаржированных в её поры (риски, царапины) остатков абразивных зёрен, ускоряющих процесс износа трущихся поверхностей. Шабренная поверхность лучше смазывается и дольше сохраняет смазывающие вещества благодаря наличию чередующихся углублённых и выступающих пятен, что также повышает её износостойкость и снижает коэффициент трения. Шабрению предшествует обработка резанием, например, опилование, шлифование, строгание, фрезерование и т.п. Шабрение даёт возможность получить поверхность с микронеровностями малой высоты (0,003...0,01 мм), так как за один проход шабером снимается слой металла толщиной 0,005...0,07 мм при чистовой обработке и не более 0,01...0,03 мм при предварительной обработке. Сущность шабрения заключается в том, что с выпуклых мест предварительно обработанной поверхности заготовки соскабливаются режущим инструментом — шабером очень тонкие стружки металла.

Шаберы — это металлические стержни различной формы с режущими кромками, изготовленные из углеродистой инструментальной стали марок от У10 до У13 и закалённые до твердости 56...64 HRC₃. Шаберы часто оснащают режущими пластинами из быстрорежущей стали или твёрдого сплава. По форме режущей части шаберы подразделяют на плоские, трёхгранные, фасонные и специальные; по количеству режущих кромок — на односторонние и двусто-

ронные (рис. 4.9, *a...d*); по конструкции — на цельные и со вставными пластинами. Форму и геометрические параметры режущих кромок шабера выбирают в зависимости от формы и размеров обрабатываемой поверхности и свойств материала заготовки. Например, шабрение плоских поверхностей ведут плоскими шаберами с прямолинейной или радиусной режущей кромкой, для криволинейных и внутренних (вогнутых) поверхностей — трёхгранные и фасонные шаберы. Шаберы с прямолинейной режущей кромкой удобнее применять при обработке краёв заготовки, так как при работе он не соскальзывает с заготовки и не повреждает её поверхность. При обработке оставшейся части заготовки шабер с прямолинейной режущей кромкой менее удобен в использовании, так как боковые уголки лезвия могут оставить на поверхности глубокие царапины. В этом случае применяют шаберы с радиусными (дугообразными) режущими кромками, которые обеспечивают меньшую шероховатость обрабатываемой поверхности, чем при работе инструментом с прямолинейной режущей кромкой.

Геометрические параметры шаберов зависят от вида обработки, свойств обрабатываемого материала и угла установки инструмента по отношению к обрабатываемой поверхности. Торцовую поверхность шабера затачивают под углом $60...100^\circ$ по отношению к продольной оси инструмента. Этот угол называется углом заострения β (рис. 4.9, *e*). Он устанавливается при грубой обработке поверхностей заготовок равным $60...75^\circ$, при чистовой обработке — 90° , для особо тонких работ — $90...100^\circ$. Величина угла заострения шабера зависит от твёрдости обрабатываемого материала. При обработке чугуна и бронзы угол заострения составляет $90...100^\circ$, при обработке стали — $75..90^\circ$, при обработке мягких металлов — $35...40^\circ$. Выбор длины режущей кромки и радиуса её закругления также зависит от твёрдости обрабатываемого материала и требуемой шероховатости поверхности. Чем твёрже материал, тем меньше длина режущей кромки и меньше радиус закругления.

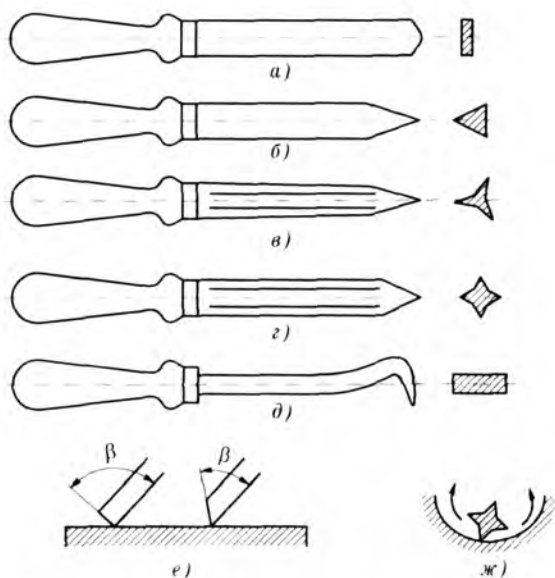


Рис. 4.9. Виды шаберов, форма режущей части и обработка цилиндрической поверхности:

a — плоский; *б, в* — трёхгранные; *г* — четырёхгранный;
д — с изогнутой режущей частью; *е* — виды углов заострения;
ж — шабрение цилиндрической поверхности

Длина режущей кромки зависит также от заданного числа и размеров пятен на единицу площади. Например, для предварительного (грубого) шабрения выбирают шабер с лезвием шириной 20...30 мм, для точного шабрения — 15...20 мм, для самого точного шабрения — 5...12 мм. Для окончательной (чистовой) обработки радиус режущего лезвия берётся большим, чем для черновой, так как в этом случае получают микронеровности наименьшей высоты и наименьшее отклонение от плоскостности.

Для обработки криволинейных вогнутых поверхностей применяют трёхгранные или четырёхгранные шаберы (рис. 4.9, *ж*), на боковых сторонах которых прорезаны продольные канавки с целью облегчения заточки. Угол заострения трёхгранного шабера составляет 60...70°.

Заточку шаберов выполняют на заточном станке с применением охлаждения. Для шаберов, изготовленных из инструментальных сталей, применяют мелкозернистые электрокорундовые шлифовальные круги (ПП 25А 16 В СМ1 6 КЗ А), а для шаберов, оснащённых твердосплавными пластинами, шлифовальные круги из карбида кремния зелёного (ПП 63С 16 В СМ1 6 КЗ А). При заточке шабер берут правой рукой за рукоятку, а левой удерживают его как можно ближе к торцу рабочей части. Шабер, опирающийся плоской гранью на подручник, плавно подводят торцом к шлифовальному кругу. Положение шабера должно быть горизонтальным или с наклоном, обеспечивающим требуемый угол заострения. Ось шабера должна быть направлена к центру периферии круга. Слегка покачивая шабер за хвостовик в горизонтальной плоскости, производят заточку шабера, выдерживая требуемый радиус закругления режущей кромки.

При заточке широких граней инструмент располагают по касательной к периферии круга. Затачивают участок на расстоянии 25...30 мм от торца инструмента попеременно с каждой стороны, выдерживая параллельность граней по отношению друг к другу.

После заточки шабера осуществляют доводку (заправку) режущих кромок для удаления на них заусенцев и неровностей. Доводку производят абразивными брусками зернистостью М14...М40 или с более мелким зерном. Поверхность бруска смазывают тонким слоем машинного масла. Вместо абразивного бруска для заправки шабера можно применять ровную чугунную плитку, на поверхность которой наносят пасту из абразивного микропорошка М28...М20 на основе машинного масла. Брусочек во время доводки кладут на неподвижную деревянную подкладку, а шабер торцовой частью устанавливают на брусочек вертикально. Двумя пальцами левой руки шабер удерживают за рукоятку, слегка прижимая его к бруску, а правой рукой совершают колебательные перемещения торца шабера по бруску вдоль режущей кромки с целью получения криволинейной режущей кромки. Затем

доводят боковые широкие поверхности, для чего двумя руками удерживают шабер в горизонтальном положении на бруске, и, перемещая его вдоль бруска, доводят поочерёдно обе грани. Повторно шабер доводят сразу, как только почувствуется небольшое затупление и ухудшение качества срезаания металла. В среднем шабер доводят через каждый час работы в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала, качества и точности шабрения.

Перед шабрением обрабатываемую поверхность очищают, промывают, протирают, затем наносят на неё краску.

Окрашивание поверочной плиты проводят краской, представляющей собой смесь машинного масла (или автола с керосином) с сажой, лазурью или ультрамарином, которую наносят тампоном на поверочную плиту ровным тонким слоем. Затем обрабатываемую заготовку плавно опускают на проверочную плиту и медленно передвигают круговыми движениями в разных направлениях, используя всю поверхность плиты, затем заготовку с плиты осторожно снимают. При шабрении тяжёлых заготовок их оставляют на месте, а на обрабатываемые поверхности накладывают поверочный инструмент для определения выступающих мест. На предварительно обработанные поверхности заготовки краска ложится равномерно, на плохо подготовленные — неравномерно. В небольших углублениях скапливается краска, а в более углублённые места краска не проникает. Таким образом, на подготовленной поверхности возникают три вида пятен: белые пятна — наиболее углублённые места, не покрытые краской, тёмные пятна — менее углублённые, в которые проникает краска и серые пятна — наиболее выступающие места, на которые краска ложится тонким слоем.

Процесс шабрения заключается в постепенном удалении металла с окрашенных участков (серые пятна). При работе шабер следует держать правой рукой, а ладонью левой руки охватить инструмент посередине, поддерживая инструмент снизу четырьмя пальцами. Рабочий занимает положение относительно тисков или обрабатываемой заготовки, как при

опиливании. Шабер устанавливают под углом 30...40° к обрабатываемой поверхности. Рабочим ходом инструмента при шабрении является его движение вперёд, т.е. от себя. При движении назад (холостой ход) шабер приподнимают. Работать следует, не сгибаясь, при свободном положении корпуса. Шабрение производится в несколько переходов: черновой (предварительный), получистовой (точный) и чистовой (отделочный). В особых случаях проводят точную и тонкую обработку шабрением. В начале шабрения перемещение инструмента (длина хода) должна составлять примерно 15...20 мм, затем по мере выравнивания поверхности оно уменьшается до 2...5 мм. Направление движения шабера каждый раз следует изменять так, чтобы полученные штрихи пересекались между собой под углом 45...60°.

Начинать шабрение плоской поверхности надо с наиболее удалённого участка, постепенно приближаясь к ближайшему краю. После каждого цикла шабрения обрабатываемую поверхность следует насухо протереть, вновь проверить на плите с краской и продолжать шабрение до тех пор, пока вся обрабатываемая поверхность не покроется равномерно чередующимися пятнами краски. Предварительное шабрение считается законченным, если пятна краски равномерно располагаются по всей поверхности.

Окончательное шабрение заключается в разделении крупных пятен пополам или на несколько равных по размеру и форме частей, а продолговатых — на более мелкие части в поперечном направлении. Чем точнее требуется пришабрить поверхность, тем более тонкий слой краски должен быть наложен на поверочную плиту, использован более узкий шабер (8...10 мм) и длина рабочего хода не должна составлять более 4...5 мм.

Криволинейные поверхности (вкладыши подшипников, втулки, гильзы) для шабрения окрашивают с помощью поверочного вала. Окрашенные участки на обрабатываемой поверхности удаляют трёхгранным шабером, перемещая его по окружности вправо и влево.

Качество шабрения определяют по числу пятен, входящих на единицу обработанной поверхности, для чего служит контрольная рамка с квадратным окошком 25×25 мм, которую накладывают на обработанную поверхность. Подсчёт числа пятен проводят в 2...4 местах проверяемой поверхности. Число пятен должно быть не менее 10, при получистой обработке — 12, при чистовой обработке — 15, при точной обработке — 20, при тонкой — 25.

4.1.7. Притирка заготовок

Притиркой называется обработка поверхностей с помощью мелкозернистых шлифовальных порошков или паст, нанесённых на твёрдую поверхность инструмента — притира, или на сопрягаемую поверхность. Припуск, оставаемый на притирку, составляет 0,02...0,05 мм, а шероховатость поверхности после притирки составляет не более 0,001...0,002 мм. Поверхность притирают после окончательной механической обработки — шлифования, точного точения, фрезерования, развёртывания, шабрения. Детали для обработки могут быть закалёнными или термически не обработанными. Детали, подвергающиеся притирке, могут иметь плоскую, цилиндрическую и фасонную поверхности. В машиностроении притирке подвергают поверхности арматуры, пробки и корпуса кранов, клапаны и седла двигателей и т.п. Особенно широко распространена притирка, а также более точная обработка — доводка, в инструментальном производстве.

Существуют два технологических способа выполнения притирки. Первый способ состоит в том, что сопрягаемые детали притирают одну относительно другой. Между притираемыми деталями наносят абразивные материалы в виде порошков или паст. Таким приёмом притирают, например, клапаны к седлам, пробки к корпусам кранов и др. Второй способ состоит в притирке каждой из двух сопрягаемых деталей с помощью притира. Так притирают плиты, крышки

и фланцы в плотных соединениях, рабочие поверхности линеек, шаблонов, калибров и т.п.

Притирочные материалы подразделяются на две группы: твёрдые и мягкие. К твёрдым относятся материалы, твёрдость которых выше твёрдости закалённой стали. Это шлифовальные порошки и микропорошки из наждака, корунда, электрокорунда нормального (12А...16А), электрокорунда белого (22А...25А), электрокорунда легированного (33А...37А), карбида кремния зелёного (63С и 64С), карбида бора (ЛМ) и синтетических алмазов (АСМ и АСН). К мягким относятся материалы, твёрдость которых ниже твёрдости закалённой стали. Это абразивные порошки из окиси хрома, окиси железа (крокуса), венской извести и др. Особенностью некоторых мягких абразивных материалов, главным образом окиси хрома, является их способность оказывать на обрабатываемую поверхность механическое воздействие вместе с химическим.

Входящие в состав многих паст органические кислоты типа олеиновой и стеариновой энергично разрушают плёнки окислов, непрерывно образующиеся на поверхности детали, ускоряя процесс притирки. Это способствует непрерывному химико-механическому процессу удаления металла. Из мягких абразивных материалов наиболее широко применяют пасты на основе окиси хрома (65...80 %). Различают хромистые пасты трёх составов: грубые, средние и тонкие.

Смазывающие вещества — керосин, машинное масло, скипидар, животные жиры (сало), бензин и другие способствуют ускорению обработки, сохранению остроты кромок зёрен, повышению точности и уменьшению высоты микронеровностей обработанной поверхности.

Притиры — инструменты, которыми производят притирку деталей. В зависимости от формы и размеров обрабатываемых поверхностей притиры могут быть плоскими (плиты, бруски, диски), цилиндрическими для притирки наружных и внутренних поверхностей, коническими и специальными.

Материал притира должен быть мягче материала обрабатываемой детали для того, чтобы зерна абразивного порошка вдавливались (шаржировались) в поверхность притира. Притиры изготавливают из чугуна, бронзы, красной меди, свинца, стекла, фибры и твёрдых пород дерева. Для твёрдых абразивно-притирочных материалов чаще применяют чугунные притиры, реже — медные. Для хромовых напаст применяют стеклянные притиры.

Притирка поверхностей различных деталей включает подготовку притиров к работе и непосредственное выполнение притирки.

Существуют два способа шаржирования притиров абразивным материалом: прямой способ, когда абразивный порошок вдавливают в притир до работы с помощью стального закалённого валика. После шаржирования с притира удаляют остаток абразивного порошка, притир слегка смазывают. Косвенный способ заключается в покрытии притира слоем смазки и посыпании его абразивным порошком. В процессе доводки зёрна абразива вдавливаются в притир обрабатываемой сталью.

Притирку подразделяют на предварительную (черновую) и окончательную (чистовую). Предварительную притирку ведут на плите с канавками, а окончательную — на гладкой плите. Притираемую заготовку передвигают по плите круговыми движениями. Чтобы плита изнашивалась равномерно, притирку ведут по всей поверхности, узкие стороны заготовок можно притирать пакетом, когда несколько одинаковых заготовок, соединённых винтами, трубиной или заклёпками в пакет, обрабатывают аналогично широким плоскостям.

Притирку тонких и узких заготовок, например шаблонов, угольников, лекальных линеек, можно проводить также с помощью чугунных или стальных направляющих кубиков, брусков, призм. Притираемую заготовку прижимают к бруску и вместе с ним перемещают на притирочной плите. Для притирки широких плоскостей тонких за-

готовок (шаблонов, угольников) их закрепляют на деревянном бруске мелкими гвоздями (или иным способом) и вместе с деревянным бруском перемещают на притирочной плите.

4.2. Металлорежущие станки и их кинематические схемы

4.2.1. Общие сведения о станках

Металлорежущие станки являются машинами (орудиями), предназначенными для обработки металлов и других материалов с целью получения деталей с заданными размерами и формой. Металлорежущие станки классифицируются по технологическому методу обработки, назначению, степени автоматизации, степени специализации, точности изготовления, числу главных рабочих органов, особенностям конструкции и т.д.

По технологическому методу обработки в соответствии с видом режущего инструмента, характером обрабатываемых поверхностей и схемой обработки различают станки токарные, сверлильные, расточные, фрезерные, шлифовальные и др.

По назначению различают универсальные, широкого назначения, специализированные и специальные станки. Универсальные станки применяются для выполнения разнообразных операций на деталях широкой номенклатуры, то есть для деталей широкого круга наименований. К ним можно отнести токарно-винторезные, горизонтально-расточные, вертикально-фрезерные и др.

На станках широкого назначения выполняют ограниченный круг операций на многих заготовках, но менее разнообразных в сравнении с универсальными станками. Сюда можно отнести многорезцовые, собственно токарные, строгальные и другие станки.

На специализированных станках обрабатывают однотипные заготовки разных размеров. Например, станки для обработки коленчатых валов, специализированные для шлифовальных работ, затыловочные для обработки модульного инструмента и др.

На специальных станках ведут обработку заготовок одного типоразмера. К специальным станкам следует отнести холодновысадочный автомат для изготовления болтов, электрохимический станок для обработки лопаток турбин и др.

По весу различают станки лёгкие, весом до 1000 кг; средние, весом до 10 000 кг; тяжёлые, весом до 100 т и уникальные, весом свыше 100 т.

По точности все станки делятся на 5 классов:

- класс Н — нормальной точности (универсальные станки);
- класс П — повышенной точности (на базе станков нормальной точности);
- класс В — высокой точности (за счёт применения точных ходовых винтов, оптических устройств и др.);
- класс А — особо высокой точности (за счёт мероприятий, указанных в предыдущем пункте, применения жёсткой или специальной конструкции узлов, размещения оборудования в помещениях с искусственными климатическими условиями и др.);
- класс С — особо точные станки или мастер-станки. Эти станки устанавливаются в помещениях с искусственным микроклиматом.

По степени автоматизации станки разделяют на группы:

- станки с ручным управлением, на которых переключение скоростей, пуск, остановка, подвод и отвод суппорта, закрепление заготовки проводятся рабочим;
- полуавтоматы, на которых установка заготовок, пуск станка и снятие деталей производятся рабочим, а остальные движения цикла обработки заготовки осуществляются автоматически;

— автоматы, автоматические линии и станки с программным управлением. На автоматах рабочий осуществляет только контроль над циклом обработки заготовок. Все рабочие и холостые движения производятся автоматически. Автоматические линии объединяют станки-автоматы системой транспортировки заготовок от станка к станку.

По числу главных рабочих органов различают станки одношпиндельные, многошпиндельные, односуппортные, многосуппортные и т.д.

По конструктивным признакам выделяют станки с горизонтальным или вертикальным расположением шпинделя и т.п.

Наиболее полная классификация металлорежущих станков достигается по комплексу признаков станков, обрабатываемых деталей и другим характеристикам. Такая классификация разработана экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков. В этой классификации предусмотрено девять групп станков, каждая из которых разделяется на девять типов.

Первая группа (1) объединяет токарные станки. Их разнообразие делят на следующие типы станков: автоматы и полуавтоматы одношпиндельные (1 тип) и многошпиндельные (2 тип), револьверные (3 тип), сверлильно-отрезные (4 тип), карусельные (5 тип), токарные и лобовые (6 тип), многорезцовые (7 тип), специализированные (8 подгруппа), разные токарные (9 подгруппа).

Вторая группа (2) объединяет сверлильные и расточные станки. Их разнообразие делят на следующие типы станков: вертикально-сверлильные (1 тип), полуавтоматы одношпиндельные (2 тип) и многошпиндельные (3 тип), координатно-расточные (4 тип), радиально-сверлильные (5 тип), горизонтально-расточные (6 тип), алмазно-расточные (7 тип), горизонтально-сверлильные (8 тип), разные сверлильные (9 тип).

Третья группа (3) объединяет шлифовальные, полировальные, доводочные и заточные станки. Их разнообразие

делят на следующие типы станков: круглошлифовальные (1 тип), внутришлифовальные (2 тип), обдирочно-шлифовальные (3 тип), специализированные шлифовальные (4 тип), резервный (5 тип), заточные (6 тип), плоскошлифовальные (7 тип), притирочные и полировальные (8 тип), разные, работающие абразивными инструментами (9 тип).

Четвёртая группа (4) объединяет комбинированные, электрофизические и электрохимические станки. Деления на типы пока не предусмотрено.

Пятая группа (5) объединяет зубо- и резьбообрабатывающие станки. Их разнообразие делят на следующие типы станков: зубострогальные для цилиндрических колёс (1 тип), зуборезные для конических колёс (2 тип), зубофрезерные для цилиндрических колёс и шлицевых валиков (3 тип), зубофрезерные для нарезания червячных колёс (4 тип), для обработки торцов зубьев колёс (5 тип), резьбофрезерные (6 тип), зубоотделочные и поверочные (7 тип), зубо- и резьбошлифовальные (8 тип), разные зубо- и резьбообрабатывающие (9 тип).

Шестая группа (6) объединяет фрезерные станки. Их разнообразие делят на следующие типы станков: вертикально-фрезерные консольные (1 тип), фрезерные непрерывного действия (2 тип), резервный (3 тип), копировальные и гравировальные (4 тип), вертикальные бесконсольные (5 тип), продольные (6 тип), широкоуниверсальные (7 тип), горизонтально-фрезерные консольные (8 тип), разные фрезерные (9 тип).

Седьмая группа (7) объединяет строгальные, долбежные и протяжные станки. Их разнообразие делят на следующие типы станков: продольно-строгальные одностоечные (1 тип) и двухстоечные (2 тип), поперечно-строгальные (3 тип), долбежные (4 тип), протяжные горизонтальные (5 тип), резервный (6 тип), протяжные вертикальные (7 тип), резервный (8 тип), разные строгальные (9 тип).

Восьмая группа (8) объединяет разрезные станки. Их разнообразие включает следующие типы станков: отрезные,

работающие резцом (1 тип), шлифовальным кругом (2 тип), фрикционным диском (3 тип), правильно-отрезные (4 тип), ленточные (5 тип), пилы с дисковой пилой (6 тип), пилы ножовочные (7 тип), резервный (8 тип), разные (9 тип).

Девятая группа (9) объединяет разные станки. Их разнообразие включает следующие типы станков: муфто- и трубообрабатывающие (1 тип), пилонасекательные (2 тип), бесцентрово-обдирочные (3 тип), правильные (4 тип), для испытания инструментов (5 тип), делительные машины (6 тип), балансировочные (7 тип), 8 и 9 типы не предусмотрены.

В соответствии с приведённой классификацией станку присваивается определённый шифр. Первая цифра шифра означает группу станков, вторая — тип, третья, а иногда третья и четвёртая вместе взятые показывают условный размер станка. Буквы на втором или третьем местах шифра показывают, что это станки одного типоразмера, но с разными техническими характеристиками (модернизированные). Буква в конце шифра показывает различные видоизменённые станки одной базовой модели (модифицированные). Например, шифр 2Н150 присвоен модернизированному вертикально-сверлильному станку (группа 2, тип 1) с наибольшим условным диаметром сверления 50 мм.

Принята соответствующая индексация станков с программным управлением: Ц — с цикловым программным управлением; Ф — с числовым программным управлением (ЧПУ). После буквы Ф следуют цифры, которые означают принятую систему управления: Ф1 — с цифровой индикацией и преднабором координат; Ф2 — с позиционными системами; Ф3 — с контурными системами; Ф4 — с универсальными системами для позиционной и контурной обработки. Например, шифром 1725МФ3 обозначают токарный патронно-центровой многорезцовый полуавтомат (группа 1, тип 7) с высотой центров 250 мм (25), станок модифицированный (М) и оснащённый контурной системой ЧПУ (Ф3).

4.2.2. Элементы механизмов станков.

Кинематическая цепь и кинематическая схема станка

Металлорежущий станок представляет собой сложное конструктивное устройство, состоящее из наружных и внутренних деталей, узлов и механизмов, обеспечивающих его функциональное назначение и работоспособность. Одним из основных элементов станка является его привод, который представляет собой совокупность механизмов, предназначенных для передачи движения от источников движения (электрического, гидравлического или пневматического двигателя) к рабочим органам станка (шпинделю, столу, суппорту).

По назначению различают приводы главного движения, подачи, вспомогательных движений, отдельных механизмов. В зависимости от характера частоты вращения рабочих органов станка различают ступенчатые и бесступенчатые приводы. Системы бесступенчатого регулирования скорости вращения позволяют получать частоту вращения шпинделя и значения подач в определённых пределах расчётных режимов резания. В станках используются приводы вращательного, поступательного, прямолинейного, прерывистого, возвратно-поступательного, непрерывного движений. Существует также следящий привод копировальных станков.

Важнейшими элементами станков являются различные виды передач. Передачами называют механизмы, передающие движение от одного элемента привода к другому или преобразующий один вид движения в другой. В передачах имеются ведущий (передающий движение) и ведомый (получающий движение) элементы. Каждая передача имеет основную характеристику — передаточное отношение i , показывающее, во сколько раз частота вращения ведомого элемента n_2 меньше (больше) частоты вращения ведущего элемента n_1 . Передачи, понижающие скорость, называются ре-

дукторами, а повышающие — мультипликаторами. Существует ещё один тип передач — вариаторы, у которых передаточное отношение является непрерывным рядом значений отношений оборотов ведущего и ведомого шкивов и может изменяться в некоторых пределах.

Ремённая передача (рис. 4.10, а) осуществляется плоскими, клиновыми или круглыми ремнями, огибающими ведущий и ведомый шкивы, имеющими диаметры соответственно d_1 и d_2 . Передаточное отношение её равно:

$$i = \frac{n_2}{n_1} \cdot \eta_p = \frac{d_1}{d_2} \cdot \eta_p,$$

где η_p — коэффициент проскальзывания ремня ($\eta_p = 0,96 \dots 0,99$).

Цепная передача (рис. 4.10, б) состоит из ведущей и ведомой звёздочек, которые огибает многозвенная роликовая или бесшумная цепь. Передаточное отношение цепной передачи равно

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2}.$$

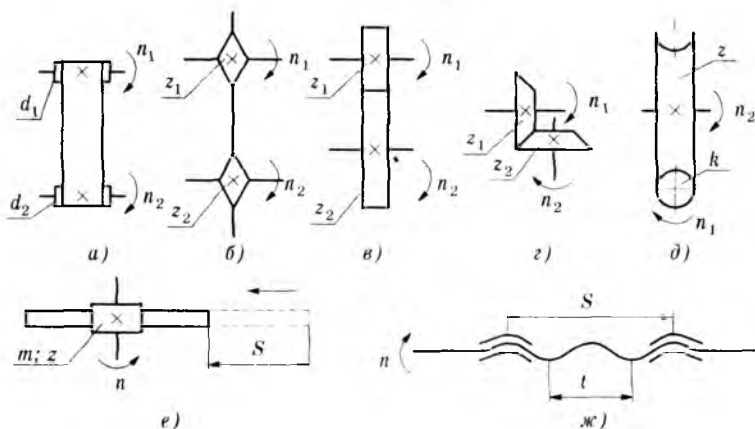


Рис. 4.10. Передачи металлорежущих станков:
а — ремённая; б — цепная; в — цилиндрическая зубчатая;
г — коническая зубчатая; д — червячная; е — реечная;
ж — винтовая

Зубчатая передача (рис. 4.10, в и г) содержит цилиндрические (с прямыми, косыми или шевронными зубьями) или конические (с прямыми или криволинейными зубьями) зубчатые колёса.

Передаточное отношение зубчатой передачи равно:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2},$$

где z_1 и z_2 — число зубьев ведущего и ведомого зубчатых колёс.

Червячная передача (рис. 4.10, д) комплектуется из червяка (винта) и червячного зубчатого колеса. В передаче ведущим элементом служит червяк, а ведомым — зубчатое колесо. Передаточное отношение зубчатой передачи равно:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{k}{z},$$

где k — число заходов резьбы червяка;

z — число зубьев червячного колеса.

Реечная передача (рис. 4.10, е) необходима для преобразования вращательного движения зубчатого колеса или червяка в поступательное движение зубчатой рейки. Если реечное зубчатое колесо имеет z зубьев, а модуль реечного колеса и рейки равен m , то за n оборотов реечного колеса рейка переместится на величину S , равную $S = n \cdot \pi \cdot m \cdot z$.

Винтовая передача (рис. 4.10, ж) направлена на преобразование вращательного движения винта в поступательное движение гайки. Винтовая передача обладает высокими показателями точности и КПД, что обусловило её широкое применение в станках с ЧПУ. Если шаг резьбы винта равен t , число заходов резьбы равно k , то за n оборотов ходового винта гайка переместится в осевом направлении на величину S , равную $S = n \cdot t \cdot k$.

Существует большое количество различных механизмов станков.

С помощью блока зубчатых колёс (рис. 4.11, а) осуществляется ступенчатое изменение скорости вращения n_2 ве-

домого вала, на который передаётся движение с ведущего вала, имеющего частоту вращения n_1 . Здесь возможны такие передаточные отношения, как:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2}; i_2 = \frac{z_3}{z_4}; i_3 = \frac{z_5}{z_6}.$$

Дистанционное управление блоком осуществляется с помощью электромагнитных фрикционных односторонних муфт *A* и *B* (рис. 4.11, б). Здесь ведомый вал может иметь две

частоты вращения $\left(i_1 = \frac{z_1}{z_2}; i_2 = \frac{z_3}{z_4} \right)$. Блоки широко используются в станках с ЧПУ.

В универсальных станках применяют «конусы» зубчатых колёс с накидным зубчатым колесом (рис. 4.11, в). Механизм позволяет получить несколько передаточных отношений:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_c}; i_2 = \frac{z_2}{z_c}; i_3 = \frac{z_3}{z_c}; i_4 = \frac{z_4}{z_c}; i_5 = \frac{z_5}{z_c}.$$

Бесступенчатое регулирование скорости в станках проводят на базе механических, гидравлических и электрических механизмов. Механический вариатор (рис. 4.11, г) состоит из двух конических шкивов *I* и *2*, образующими наружных поверхностей которых являются кривые. Шкивы насажены на ведущий *I* и ведомый *II* валы. К поверхности шкивов прижаты ролики, оси которых могут устанавливаться под разными углами относительно валов. Этим достигается изменением передаточного отношения передачи. Плавное изменение передаточного отношения осуществляется в пределах от 3 до 6,5.

Реверсивный механизм с цилиндрическими колёсами (рис. 4.11, д) изменяет направление вращения ведомого вала, вращающегося с частотой n_2 , на противоположное. Частота вращения ведущего вала равна n_1 . Муфта может занимать три положения: среднее, крайнее левое и крайнее правое, в зависимости от положения муфты, передвигающейся

вдоль вала. В среднем (нейтральном) положении ведомый вал неподвижен, а шестерни z_2 и z_5 свободно проворачиваются относительно ведомого вала.

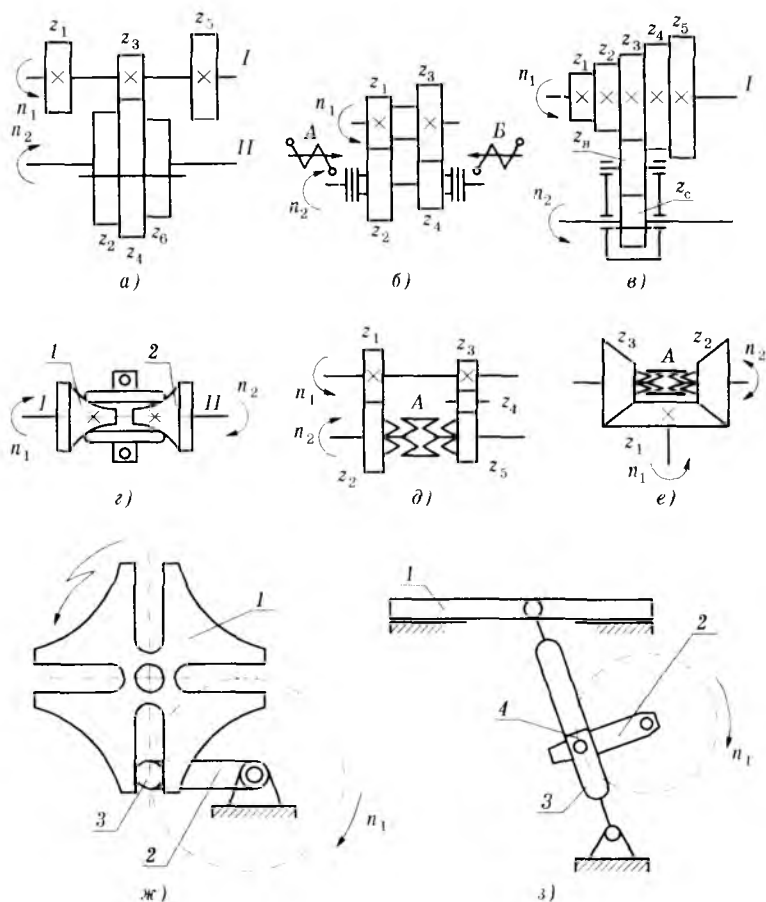


Рис. 4.11. Механизмы металлорежущих станков:
а — блок зубчатых колёс; **б** — блок колёс с дистанционным управлением; **в** — конус зубчатых колёс с накидным колёсом; **г** — механический вариатор; **д** — реверсивный механизм с цилиндрическими зубчатыми колёсами; **е** — реверсивный механизм с коническими зубчатыми колёсами; **ж** — механизм мальтийского креста; **з** — кулисный механизм

Реверсивный механизм с коническими колёсами (рис. 4.11, *е*) изменяет направление вращения ведомого вала, вращающегося с частотой n_2 , в зависимости от положения муфты *A* на ведомом валу. Эта муфта также имеет три положения: среднее (нейтральное), крайнее левое и крайнее правое, в зависимости от положения муфты, передвигающейся вдоль вала. В среднем (нейтральном) положении ведомый вал неподвижен, а шестерни z_2 и z_3 свободно проворачиваются на нём. Направление ведущего вала с шестерней z_1 , имеющего частоту вращения n_1 , остаётся неизменным.

Механизм мальтийского креста (рис. 4.11, *ж*) преобразует непрерывное вращательное движение водила 2 в прерывистое вращательное движение мальтийского креста 1. Палец 3 водила, закреплённого на ведущем валу, описывает окружность и заставляет вместе с ним вращаться мальтийский крест, так как палец входит в его радиальный паз. Вращение мальтийского креста продолжается до тех пор, пока палец не выйдет из зацепления с пазом. Передаточное отношение мальтийского креста равно $i = 1/z$, где z — число пазов мальтийского креста.

Кулисный механизм (рис. 4.11, *з*) преобразует вращательное движение водила 2 или кулисного зубчатого колеса, вращающегося с частотой n_1 , в возвратно-поступательное движение ползуна 1. Камень 4 при вращении водила 2, может поворачиваться на его пальце и перемещаться в пазу кулисы 3, вынуждая кулису качаться в нижнем шарнире и занимать крайние положения относительно вертикальной оси. Кулиса соединена с ползуном 1 с помощью верхнего шарнира. Амплитуда качания кулисы и, следовательно, ход ползуна зависят от величины радиуса окружности (эксцентриситета) вращения камня, который, как правило, в механизме бывает регулируемым.

Для передачи движения от электродвигателя к исполнительным органам станка служат кинематические цепи, которые состоят из различных передач, механизмов и других элементов, которые обобщённо называют звеньями. Звенья служат для изменения скорости и направления дви-

жения исполнительных органов, преобразования одного вида движения в другой в определённой последовательности. Условное плоское изображение кинематических цепей станков называется кинематической схемой.

Кинематическая схема позволяет рассматривать взаимосвязь отдельных элементов и механизмов станка, участвующих в передаче движений различным органам станка, и производить расчёты по настройке кинематических цепей металлорежущих станков. Для вычерчивания кинематических схем используют стандартные условные обозначения. Кроме условного изображения передач и других элементов на кинематической схеме указываются их числовые характеристики: число зубьев шестерён, модули зубчатых колёс, число заходов червяков, диаметры шкивов, числа оборотов и значения мощности электродвигателей и др. При наличии в станке гидравлических, электрических или пневматических устройств составляются гидрокинематические или электрические схемы. Как правило, кинематическая схема станка локализацией своих элементов соотносится со схемой его общего вида.

Общий вид станка 16К20, являющийся базовой моделью ещё для шести разновидностей токарных станков: 16К20Г, 16К20П, 16К25, 16К20Ф3, 16К20Т1, 16К20Ф3С5, показан на рисунке 4.12. Здесь левая 1 и правая 14 тумбы являются опорами станины 2 с призматическими направляющими, по которым могут перемещаться суппорт 7 и задняя бабка 11. Суппорт, предназначенный для подачи инструмента во время обработки, состоит из фартука с рукоятками управления 10, поперечных и верхних салазок 9 и резцедержателя 8. В левой тумбе устанавливают электродвигатель главного движения, а в правой — насосную станцию и бак для подачи и хранения смазывающе-охлаждающей жидкости. На станину слева установлена передняя бабка 6, в корпусе которой размещена коробка скоростей. Рычаги управления коробкой скоростей выведены на переднюю панель 5 передней бабки. Выходной вал коробки скоростей, называемый шпинделем, имеет концевой резьбовой

участок, на который навинчивается патрон с зажимными кулачками. Патрон обеспечивает вращение заготовки с окружной скоростью v . Ниже передней бабки на лицевой стороне станины закрепляется коробка подач 3, выходными рабочими элементами которой являются два вала, к которым с помощью муфт присоединяются ходовой вал 13 и ходовой винт 12. Передачи и механизмы коробки подач служат для изменения частоты вращения ходового вала и ходового винта, перемещающих суппорт при обработке заготовки. Ходовой винт включается при нарезании различного рода резьбы, а ходовой вал — для выполнения остальных видов работ. Суппорт при обработке заготовки перемещается с продольной подачей $S_{пр}$, а его поперечные салазки — с поперечной подачей $S_{п}$. Верхние салазки 9 могут устанавливаться под любым углом к оси заготовки для обработки конических поверхностей. На верхних салазках устанавливается поворотный четырёхпозиционный резцедержатель (резцовая головка) 8. Установочные подачи верхних салазков, задней бабки, повороты резцедержателя условно показаны стрелками с обозначениями S_y .

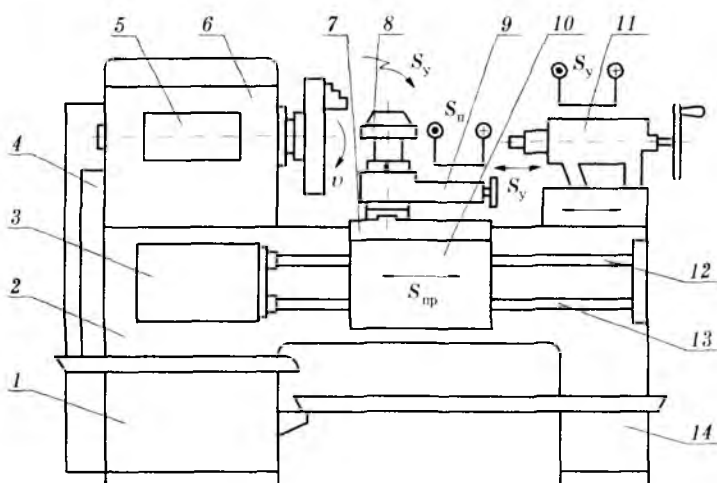


Рис. 4.12. Общий вид токарно-винторезного станка 16K20

Кинематическая схема станка 16К20 представлена на рисунке 4.13.

Привод главного движения осуществляет вращение шпинделя от электродвигателя M_1 (мощность $N = 10$ кВт, $n = 1460$ мин⁻¹) через клиноременную передачу 148/268 и коробку скоростей. Муфта M_1 служит для включения, выключения и изменения направления вращения шпинделя. Движение от электродвигателя на шпиндель может передаваться по двум кинематическим цепочкам: с участием перебора (включение блока B_3 , удлиняющего последовательность шестерён, находящихся в зацеплении) и без перебора. Кинематическая цепь без перебора позволяет получить 12 вариантов установления частоты вращения шпинделя:

$$n_{\text{шп}} = 1460 \cdot \frac{148}{268} \cdot 0,985 \cdot \frac{51}{39} \left(\text{или} \frac{56}{34} \right) \times \\ \times \frac{21}{55} \left(\text{или} \frac{29}{47}; \frac{38}{38} \right) \cdot \frac{30}{60} \left(\text{или} \frac{60}{48} \right).$$

Настройка кинематической цепи с участием перебора позволяет получить ещё 12 вариантов частоты вращения шпинделя:

$$n_{\text{шп}} = 1460 \cdot \frac{148}{268} \cdot 0,985 \cdot \frac{51}{39} \left(\text{или} \frac{56}{34} \right) \times \\ \times \frac{21}{55} \left(\text{или} \frac{29}{47}; \frac{38}{38} \right) \cdot \frac{15}{60} \left(\text{или} \frac{45}{45} \right) \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60}.$$

Максимальная частота вращения шпинделя рассчитывается с учётом максимальных значений передаточных отношений кинематических пар.

$$n_{\text{max}} = 1460 \cdot \frac{148}{268} \cdot 0,985 \cdot \frac{56}{34} \cdot \frac{38}{38} \cdot \frac{60}{48} \approx 1600 \text{ мин}^{-1}.$$

Минимальная частота вращения шпинделя рассчитывается с учётом минимальных значений передаточных отношений кинематических пар.

$$n_{\min} = 1460 \cdot \frac{148}{268} \cdot 0,985 \cdot \frac{51}{39} \cdot \frac{21}{55} \cdot \frac{15}{60} \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60} \approx 12,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Реально из 24 частот вращения шпинделя используется 22 частоты, так как две частоты 500 и 630 мин⁻¹ повторяются. Обратные частоты вращения шпинделя, получаемые с помощью реверсивного механизма, включающего блок 24-36, изменяются в пределах 19...1900 мин⁻¹.

Привод подач состоит из звена увеличения шага, реверсивного механизма, гитары сменных шестерён, коробки подач и механизма передач фартука.

Кинематическая цепочка подач начинается с вала шпинделя, а заканчивается реечной или винтовой парой в зависимости от вида выполняемой работы. Подача рассчитывается как перемещение суппорта, приходящееся на 1 оборот шпинделя.

Передача движения от шпинделя осуществляется через пару зубчатых колёс 60/60, как показано на схеме, или через звено увеличения шага, которое располагается в коробке скоростей и позволяет получить три различных значения передаточного отношения:

$$i_1 = \frac{60}{30} = 2; i_2 = \frac{60}{30} \cdot \frac{72}{18} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{45}{45} = 8;$$

$$i_3 = \frac{60}{30} \cdot \frac{72}{18} \cdot \frac{60}{15} \cdot \frac{45}{45} = 32.$$

Таким образом, звено увеличения шага представляет собой перебор, используемый для передачи движения в коробку подач.

Реверсирование вращения ходового винта осуществляется участием дополнительного зубчатого колеса: правое вращение винта ведётся парой зубчатых колёс 30/45, а левое вращение осуществляется зацеплением трёх колёс (30/25) (25/45).

После механизма реверсирования движения вращение передаётся сменным зубчатым колёсам гитары, которые могут иметь две комбинации зацеплений сменных шесте-

рён: $\frac{K}{L} \cdot \frac{L}{N} \left(\frac{a}{b} \cdot \frac{b}{d} \right) = \frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64}$. Такое зацепление сменных шес-

терён используется для передачи вращения к ходовому валу или к ходовому винту при нарезании метрической и дюймовой резьбы.

Вторая комбинация зацепления сменных шестерён, равная произведению отношений чисел зубьев сменных шесте-

рён $\frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} \left(\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \right) = \frac{60}{73} \cdot \frac{86}{36}$, применяется для нарезания мо-

дульных и питчевых резьб.

Значение продольной подачи, обусловленное передачей вращения по кинематической цепочке, указанной на схеме двойными линиями, рассчитывается с учётом возможных значений передаточных отношений кинематических пар по уравнению:

$$s_{\text{мах прод}} = 1 \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{35} \cdot \frac{15}{48} \cdot \frac{23}{40} \times \\ \times \frac{24}{39} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{4}{21} \cdot \frac{36}{41} \cdot \frac{17}{56} \cdot \pi \cdot 10 \cdot 3 \approx 0,07 \text{ мм/об.}$$

(На схеме механизма фартука не показано зацепление пары 17/56).

Уравнение кинематической цепи при нарезании резьбы будет иметь вид:

$$t_p = 1_{\text{об. шп}} \cdot i_n \cdot i_{\text{см}} \cdot t_{\text{х.в.}},$$

где t_p — шаг нарезаемой резьбы;

$t_{\text{х.в.}}$ — шаг ходового винта;

i_n — передаточное отношение постоянных элементов между шпинделем и ходовым винтом;

$i_{\text{см}}$ — передаточное отношение сменных шестерён:

$$\frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} \left(\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \right) = \frac{60}{73} \cdot \frac{86}{36} \text{ или } \frac{K}{L} \cdot \frac{M}{N} \left(\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \right) = \frac{60}{73} \cdot \frac{86}{36}.$$

Быстрое перемещение суппорта осуществляется от отдельного электродвигателя $M2$ ($N = 0,75$ кВт, $n = 1360$ мин⁻¹), расположенного с правой стороны станины станка.

4.3. Режущий инструмент и его разнообразие

4.3.1. Геометрия и типы токарных резцов

Общие сведения. Выбор металлорежущего инструмента определяется характером обработки детали, конструктивными особенностями заготовки, требуемыми параметрами точности и качества обработанной поверхности. В основе работы практически всех металлорежущих инструментов с образованием стружки лежит принцип работы клина. Даже шлифовальный инструмент, на первый взгляд ничего не имеющий общего с клином, представляет собой компактную массу большого количества зёрен с острыми кромками, являющимися лезвиями клиньев. Наиболее простыми по форме из огромного многообразия металлорежущего инструмента являются резцы. Их делят на три основные группы: токарные, строгальные и долбёжные. Следует отметить, что в сборных торцовых фрезах и во фрезерных головках используются также короткие резцы.

Токарные резцы используются на токарных работах для получения из заготовок деталей с цилиндрическими, коническими, фасонными или торцовыми поверхностями, образующимися в результате согласованных движения вращения заготовки и поступательного перемещения резца.

Резец (рис. 4.14) состоит из головки 3 (рабочей части) и тела (державки) 2, служащего для закрепления резца в резцедержателе. Головка резца оформляется специальной заточкой и имеет такие элементы формы, как передняя поверхность, задние поверхности, режущие кромки и вершина резца. На головке закрепляется твердосплавная пластина 4, обладающая высокими показателями режущих свойств.

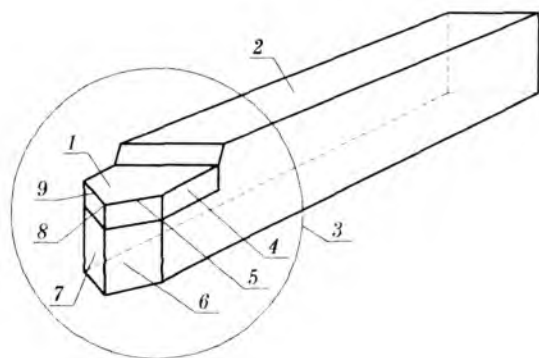


Рис. 4.14. Элементы токарного резца:

- 1 — передняя поверхность; 2 — тело резца;
 3 — головка резца; 4 — пластина твердосплавная;
 5 — главная режущая кромка; 6 — главная задняя поверхность;
 7 — вспомогательная задняя поверхность; 8 — вершина резца;
 9 — вспомогательная режущая кромка

Передняя поверхность (грань) 1 головки — это поверхность или грань, по которой скользит и удаляется стружка.

Главная задняя поверхность (грань) 6 — это поверхность или грань, обращенная к обрабатываемой поверхности.

Вспомогательная задняя поверхность (грань) 7 — это поверхность или грань, обращенная к обработанной поверхности. Такое деление достаточно условно, так как у некоторых инструментов вспомогательная задняя поверхность может отсутствовать или, наоборот, их может быть несколько.

Режущие кромки образуются пересечением передней и задних поверхностей. Различают главную режущую и вспомогательную кромки.

Главная режущая кромка (лезвие клина) 5 выполняет основную работу в процессе резания. Она образуется пересечением передней и главной задней поверхностей.

Вспомогательной режущей кромкой 9 называют лезвие, образуемое пересечением передней и вспомогательной задней поверхностей.

Вершина резца δ представляет собой место сопряжения режущих кромок резца. Как правило, место сопряжения кромок имеет форму части окружности определённого радиуса r .

По направлению подачи различают левые и правые резцы.

По форме и расположению головки относительно стержня резцы делятся на прямые, отогнутые, изогнутые и с оттянутой (утощённой) головкой.

Координатные плоскости и поверхности при измерении углов резца. Углы резца измеряются относительно выбранной системы координат. Эта система устанавливается выбранными плоскостями и поверхностями детали, резца и векторами направлений его движения.

На поверхности заготовки различают три поверхности (рис. 4.15): обрабатываемая I , поверхность резания II и обработанная поверхность III . Поверхность резания является переходной формой между обрабатываемой и обработанной поверхностями. В статическом положении резца она представляет собой конус или кольцо в зависимости от положения главной режущей кромки относительно направления поперечной подачи $S_{\text{поп}}$.

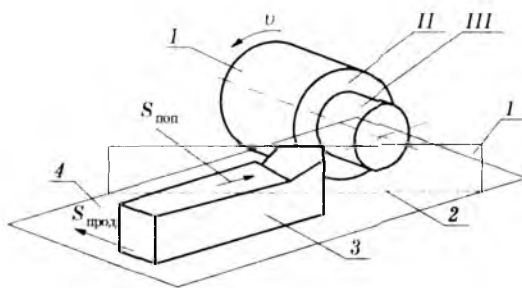


Рис. 4.15. Координатные плоскости и поверхности для определения углов резца:

I — обрабатываемая поверхность; II — поверхность резания;

III — обработанная поверхность;

I — плоскость резания (ПР); 2 — след пересечения плоскости резания и основной плоскости (ОП);

3 — резец; 4 — основная плоскость;

$S_{\text{прод}}$ — продольная подача; $S_{\text{поп}}$ — поперечная подача

Плоскость, проходящая через главную режущую кромку касательно к поверхности резания, называется плоскостью резания (ПР). Когда вершина резца находится на уровне оси заготовки, плоскость резания приблизительно перпендикулярна горизонтальной плоскости. Положение плоскости резания в процессе обработки заготовки может изменяться. При расположении вершины резца выше линии центров плоскость резания приближается к главной задней грани, если вершина резца ниже линии центров, то плоскость резания, наоборот, отдаляется от неё в соответствии с изменением положения касательной поверхности.

Плоскость, параллельная векторам продольной $S_{\text{прод}}$ и поперечной $S_{\text{поп}}$ подач, называется основной плоскостью (ОП). Следует также различать такие плоскости сечений, как:

- главная секущая плоскость (ГСП), которая представляет собой плоскость, перпендикулярную проекции главной режущей кромки на основную плоскость. В этой плоскости измеряются главные углы режущего инструмента. Если смотреть сверху на резец, положенный своей нижней опорной поверхностью на стол, то видимая режущая кромка резца на фоне стола — это её проекция на основную плоскость, т.е. на поверхность стола;
- вспомогательная секущая плоскость (ВСП), которая представляет собой плоскость, перпендикулярную проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость. В этой плоскости измеряют вспомогательные углы режущего инструмента.

Главные углы резца (рис. 4.16). К ним относятся главный задний угол α , передний угол γ , угол заострения β и угол резания δ .

Главный задний угол α представляет собой угол между следами плоскости резания (ПР) и главной задней грани резца (касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки). Его величина практически колеблется в пределах $3...5^\circ$ и он не может быть равным нулю.

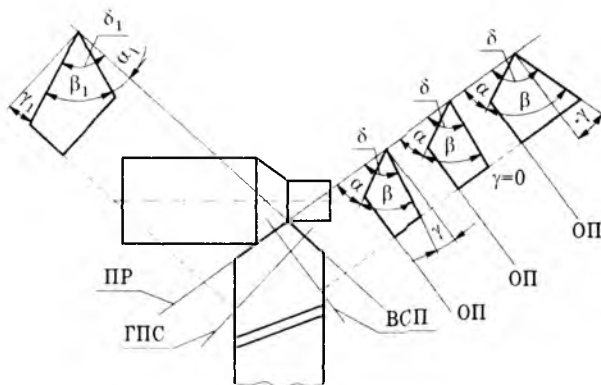


Рис. 4.16. Главные и вспомогательные углы реза:
ОП — основная плоскость; ПР — плоскость резания;
ГПС — главная секущая плоскость;
ВСП — вспомогательная секущая плоскость

Главный угол заострения β представляет собой угол между следами передней и главной задней граней. Этот угол определяет прочность клина, обеспечивающего процесс образования и отделения стружки от обрабатываемой заготовки.

Главный передний угол представляет собой угол между следами передней грани и плоскости, проходящей через главную режущую кромку перпендикулярно плоскости резания. Он может принимать положительную величину, когда между указанными следами имеется зазор. Если между указанными следами располагается материал, то передний угол считают отрицательным. При совпадении следов передней грани и плоскости, перпендикулярной к плоскости резания, передний угол равен нулю. В зависимости от условий работы величина этого угла колеблется в пределах от 45° до -15° .

Главный угол резания δ представляет собой угол между следами плоскости резания и передней грани. Он выполняет ту же функцию, что и угол γ и более удобен при обработке результатов измерений параметров процесса резания, так как его функциональная связь с усилием резания прямая.

Изменение величины угла γ связано с усилием резания обратной зависимостью.

Главные углы резца связаны друг с другом такими зависимостями:

$$\angle \delta = \angle \alpha + \angle \beta = 90^\circ - \angle \gamma; \quad \angle \alpha + \angle \beta + \angle \gamma = 90^\circ.$$

При отрицательных значениях угла γ значения угла резания δ больше 90° .

Углы в плане. Данные углы являются наиболее выразительными из всех углов резца, так как связаны с чётко различным расположением режущих кромок.

Главный угол в плане ϕ расположен между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи S . На практике величина угла ϕ колеблется в пределах от 30° до 90° в зависимости от условий обработки. Чаще всего угол ϕ равен 45° .

Вспомогательный угол в плане ϕ_1 расположен между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи S . Величина угла ϕ_1 колеблется в пределах от 10° до 45° .

Угол при вершине резца ϵ представляет собой угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость. Его величина является производной от углов ϕ и ϕ_1 . Эти углы связаны зависимостью

$$\angle \phi + \angle \epsilon + \angle \phi_1 = 180^\circ.$$

Вспомогательные углы резца (рис. 4.16). Вспомогательные углы резца располагаются во вспомогательной секущей плоскости, обозначаются теми же буквами, что и главные углы, но снабжаются подстрочным индексом 1: α_1 , β_1 , γ_1 , δ_1 . Наибольшее значение из них имеет угол α_1 .

Угол наклона главной режущей кромки λ . Данный угол расположен в плоскости, проходящей через главную режущую кромку перпендикулярно основной, а измеряется между главной режущей кромкой и прямой, проходящей через вершину резца, параллельно основной (рис. 4.17). Если в данном угле заключён воздушный зазор, то угол λ считает-

ся отрицательным, если же заключён материал, то положительным. Данный угол влияет на направление схода стружки, срезаемой с заготовки. При отрицательном угле λ стружка направляется на необработанную поверхность. При положительном угле λ , корень стружки, изгибаясь, царапает обработанную поверхность и ухудшает её качество. В связи с этим резцы с положительными углами λ (с повышенной прочностью вершины) применяют для предварительной обработки заготовок.

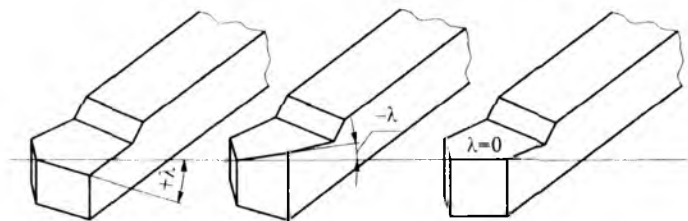


Рис. 4.17. Схема определения угла наклона главной режущей кромки λ

Типы токарных резцов. Классификация резцов по виду выполняемых работ является наиболее представительной. Различают проходные, подрезные, расточные, отрезные, прорезные, галтельные, резьбовые и фасонные токарные резцы. Некоторые из них показаны на рисунке 4.18.

Проходные резцы применяют для обработки заготовок при перемещении инструмента вдоль их осей, а также поперёк их при подрезке торцов. К проходным резцам относят также инструмент, у которого главная режущая кромка с направлением продольной подачи составляет 90° . Этот резец называют проходным упорным, который удобен для использования при обработке уступов на ступенчатых валах.

Подрезные резцы применяют для обработки торцевых поверхностей заготовок, заплечиков валов и других работ, ведущихся на поперечных подачах. В связи с этим главная режущая кромка резцов чаще всего параллельна оси заго-

товки. По существу головка подрезного резца представляет собой головку проходного резца, повернутую против часовой стрелки на 90° . Поэтому для подрезания торца могут быть использованы проходные резцы при использовании поперечной подачи.

Расточные резцы отличаются от других резцов меньшими размерами и скруглёнными формами головки для того, чтобы иметь возможность поместиться внутри отверстия при его расточке. Проходные резцы с отогнутой головкой, на первый взгляд, можно использовать для растачивания отверстий, но нижняя часть их головок не в состоянии войти в отверстие. Различают расточные резцы для сквозных и глухих отверстий. У расточных резцов для глухих отверстий вершина резца (или вся режущая кромка) является передней точкой главной режущей кромки (ГРК) в направлении подачи в отличие от инструмента для сквозных отверстий, у которых вершина резца является задней точкой ГРК.

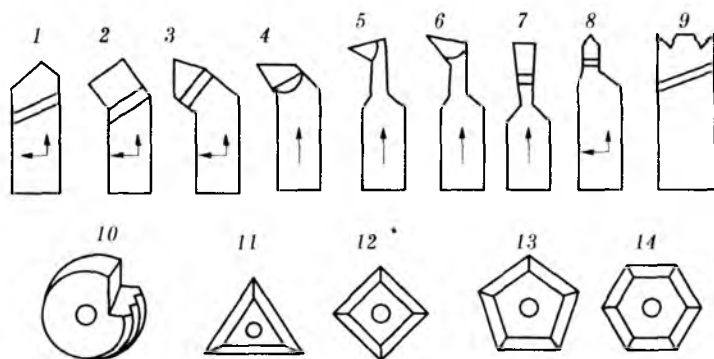


Рис. 4.18. Типы токарных резцов:

- 1 — проходной прямой; 2 — проходной отогнутый;
 3 — проходной упорный; 4 — подрезной; 5 — расточной для сквозных отверстий; 6 — расточной для глухих отверстий;
 7 — отрезной (канавочный); 8 — резьбовой (для наружной резьбы); 9 — фасонный; 10 — круглый фасонный;
 11-14 — твердосплавные пластины для резцов с механическим креплением режущих элементов

Отрезные резцы предназначены для отделения одной части заготовки от другой. Для достижения меньших потерь материала, длина режущей кромки задаётся как можно более короткой. Прорезные резцы аналогичны отрезным, но имеют длину режущей кромки, соответствующую ширине прорезаемого паза или канавки.

Галтельные (радиусные) резцы применяют для получения плавных (радиусных) закруглений в уступах, переходов от одного диаметра к другому и для протачивания канавок с закруглённым дном.

Резьбовые резцы применяют для нарезания наружной и внутренней резьбы.

Фасонные резцы применяют для обработки фасонных поверхностей. Например, целесообразно применение фасонных резцов для получения коротких по длине поверхностей типа ниппель, штуцер и др.

4.3.2. Инструмент для сквозных и глухих отверстий

Для обработки отверстий применяют свёрла, зенкеры, развёртки, метчики, круглые протяжки, комбинированный и другой инструмент. У названных инструментов, кроме протяжек, главным рабочим движением является вращательное, а у протяжек — прямолинейное поступательное.

Свёрла (рис. 4.19, *а, б*) вследствие особенностей своей конструкции позволяют получать отверстия в сплошном материале. Объясняется это наличием у сверла симметричных относительно оси инструмента двух режущих кромок 11, соединённых поперечной кромкой 12. Две направляющих ленточки 8 обеспечивают направление сверла в отверстии. Сверлением трудно обеспечить высокую точность поверхности отверстия из-за радиального биения инструмента, обусловленного погрешностями расположения поперечной и режущих кромок. Поэтому для получения отверстий большей точности после сверления назначают зенкование и развёртывание.

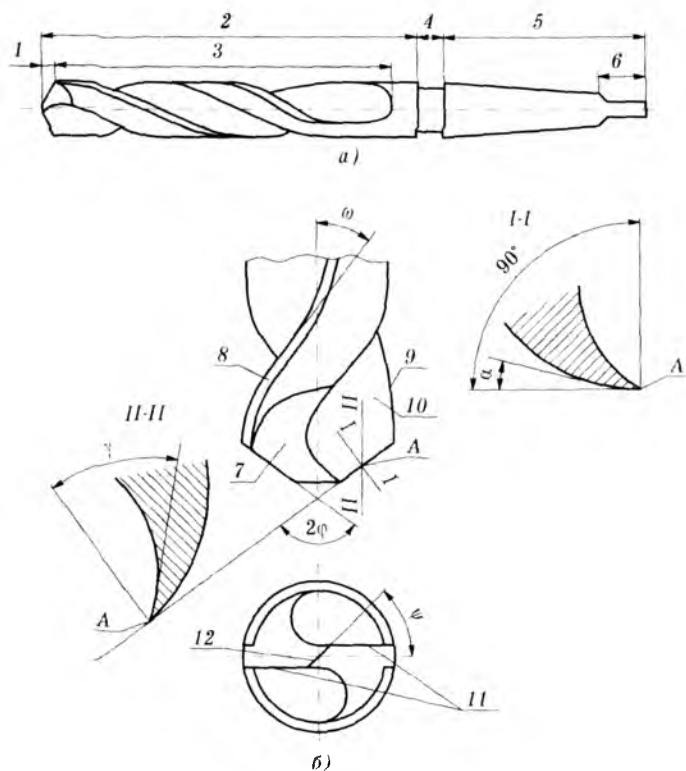


Рис. 4.19. Общий вид, элементы и углы винтового сверла:
a — части сверла: 1 — режущая часть; 2 — рабочая часть;
 3 — направляющая часть; 4 — шейка; 5 — хвостовик; 6 — лапка;
б — элементы и углы сверла: 7 — задняя поверхность;
 8 — направляющие ленточки; 9 — кромки ленточки;
 10 — передняя поверхность; 11 — режущие кромки (лезвия);
 12 — поперечная кромка (перемычка)

Зенкеры применяются для получения диаметра отверстия заданного размера в заготовках, полученных литьём или обработкой давлением, и повышения точности обработки после сверления. Объясняется это тем, что зенкеры в отличие от свёрл не имеют поперечной кромки и имеют большее количество режущих кромок (3...4 кромки). При чистовой обработке на одно режущее лезвие будет приходиться меньшая

толщина стружки. Поэтому зенкеры имеют большую точность вращения, чем свёрла и, как следствие, обеспечивают более высокую точность обработанной поверхности.

Развёртки являются инструментом для окончательной (финишной) обработки отверстий, приобретающих высокие показатели точности и качества поверхности. Развёртка имеет 6...12 режущих кромок. Точность обработанной поверхности связана с размерной точностью развёрток, которые изготавливаются с заданными отклонениями размеров.

Метчики применяются для нарезания внутренней резьбы. По конструкции метчик представляет собой винт, с продольными канавками, образующими при пересечении с витками резьбы режущие кромки. Эти же канавки являются местом, где может помещаться удаляемая стружка.

Круглые протяжки применяются для получения отверстий с достаточной высокой точностью размеров. Протяжка представляет многолезвийный инструмент, где режущие кромки последующих зубьев возвышаются над кромками предыдущих на некоторую величину S_z . Инструмент протягивается через отверстие и постепенно его расширяет. Последний участок протяжки (калибрующий) имеет зубья одинакового размера, которые обеспечивают отверстию заданные размеры. Здесь точность размерного инструмента (протяжки) обуславливает отклонения размеров обрабатываемой поверхности. Круглые протяжки являются представителями многочисленного вида инструментов, предназначенных для обработки самых различных поверхностей.

При обработке отверстий на revolverных станках, автоматах и полуавтоматах часто применяют комбинированный инструмент, в котором сочетаются элементы различных инструментов. Например, применяют сдвоенный инструмент сверло-зенкер, зенкер-развёртка, развёртка-развёртка и другие. Комбинированный инструмент целесообразно применять при обработке ступенчатых отверстий.

По способу крепления инструмента на станке различают насадные и концевые зенкеры и развёртки. Свёрла явля-

ются, как правило, концевым инструментом. Концевой инструмент закрепляется своим хвостовиком в шпинделе станка. Насадной инструмент имеет центральное коническое отверстие, которым он насаживается на оправку, а оправка, в свою очередь, закрепляется в шпинделе станка. Общий вид некоторых типов инструментов для обработки отверстий представлен на рисунке 4.20.

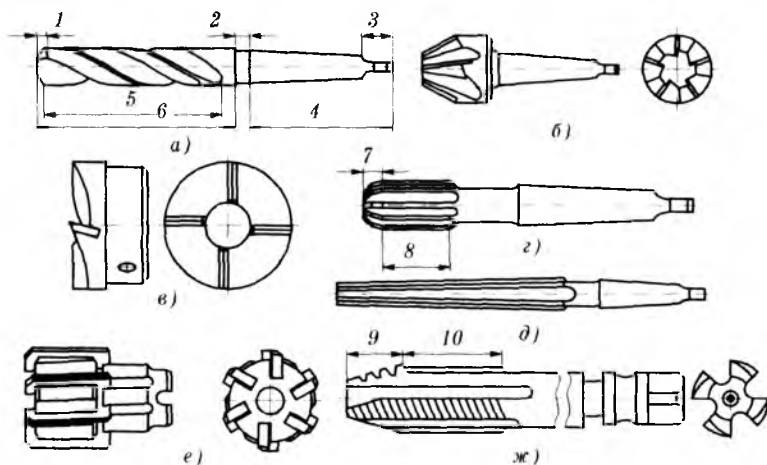


Рис. 4.20. Общий вид инструментов для обработки отверстий:

- а** — зенкер концевой расточной: 1 — режущая часть;
- 2 — шейка; 3 — лапка; 4 — хвостовик;
- 5 — направляющая часть; 6 — рабочая часть;
- б** — зенкер концевой фасочный (зенковка);
- в** — зенкер концевой подрезной (цековка);
- г** — развёртка концевая цилиндрическая машинная:
- 7 — режущая часть; 8 — калибрующая часть;
- д** — развёртка концевая коническая машинная;
- е** — развёртка насадная цилиндрическая косозубая машинная;
- ж** — метчик ручной: 9 — режущая часть; 10 — калибрующая часть

Для свёрл, зенкеров и развёрток свойственно наличие угла 2ϕ , который образует режущую часть инструмента. У подрезных зенкеров (цековок) данный угол равен 180° , что позволяет инструменту обрабатывать отверстия с плоским донцем. Вследствие изогнутости передней поверхности

по винтовой линии значения углов γ и α непостоянны вдоль кромки лезвия, но они взаимосвязаны так, что угол заострения β остаётся одним и тем же по величине вдоль всей длины режущей кромки. Это обеспечивает равную прочность режущих элементов инструмента.

Свёрла по конструкции и назначению подразделяют на винтовые (спиральные), центровочные и специальные. Наиболее распространённый для сверления и рассверливания инструмент — винтовое сверло (рис. 4.19, а), состоящее из рабочей части 2, шейки 4, хвостовика 5 и лапки 6.

В рабочей части 2 различают режущую 1 и направляющую 3 части с винтовыми канавками. Шейка 4 соединяет рабочую часть сверла с хвостовиком. Хвостовик 5 необходим для установки сверла в шпинделе станка. Лапка 6 служит упором при выбивании сверла из отверстия шпинделя.

Элементы рабочей части и геометрические параметры винтового сверла показаны на рисунке 4.19, б. Сверло имеет две главные режущие кромки 11, образованные пересечением передних 10 и задних 7 поверхностей и выполняющие основную работу резания; поперечную режущую кромку 12 (перемычку) и две вспомогательные режущие кромки. На цилиндрической части сверла вдоль винтовых канавок расположены две узкие ленточки 8, обеспечивающие направление сверла при резании.

Геометрические параметры сверла определяют условия его работы.

Передний угол γ измеряют в главной секущей плоскости II-II, перпендикулярной к главной режущей кромке.

Задний угол α измеряют в плоскости I-I, параллельной оси сверла. Передний и задний углы в различных точках главной режущей кромки различны. У наружной поверхности сверла угол γ наибольший, а угол α наименьший; ближе к оси — наоборот.

Угол при вершине сверла 2ϕ измеряют между главными режущими кромками; его значение различно в зависимости от обрабатываемого материала.

Угол наклона поперечной режущей кромки ψ измеряют между проекциями главной и поперечной режущих кромок на плоскость, перпендикулярную к оси сверла.

Угол наклона винтовой канавки ϕ измеряют по наружному диаметру. С увеличением угла ϕ увеличивается передний угол γ , при этом облегчается процесс резания и улучшается выход стружки. Рекомендуются геометрические параметры сверла приведены в справочной литературе. По назначению применяют сверла самых различных конструкций: центровочные, кольцевого сверления (для отверстий большого диаметра), комбинированные, ружейные, пушечные, перовые и другие.

В отличие от свёрл зенкеры (рис. 4.20, а-в) снабжены тремя или четырьмя главными режущими кромками и не имеют поперечной кромки. Режущая часть 1 выполняет основную работу резания. Направляющая часть 5 служит для направления зенкера в отверстии и обеспечивает необходимую точность и шероховатость поверхности. Конструктивные элементы у зенкеров те же, что и у сверла: 2 — шейка, 3 — лапка, 4 — хвостовик, 6 — рабочая часть.

По виду обрабатываемых отверстий зенкеры делят на цилиндрические (рис. 4.20, а), конические (рис. 4.20, б) и подрезные (рис. 4.20, в). По конструкции зенкеры бывают сборные и цельные с коническим хвостовиком (рис. 4.20, а, б) и насадные (рис. 4.20, в).

Развёртки по форме обрабатываемого отверстия различают цилиндрические (рис. 4.20, г) и конические (рис. 4.20, д). Развёртки имеют 6...12 главных режущих кромок, расположенных на режущей части 7 с направляющим конусом. Калибрующая часть 8 направляет развёртку в отверстии и обеспечивает необходимые параметры точности и шероховатости поверхности.

По конструкции крепления развёртки делят на хвостовые и насадные. На рисунке 4.20, е показана машинная насадная развёртка с механическим креплением режущих пластинок в её корпусе.

4.3.3. Инструмент для фрезерования

Фрезы представляют собой многолезвийные инструменты, у которых по окружности или же на торце расположены режущие зубья, представляющие собой простейшие резцы. Отличительной особенностью фрезерования является прерывистость процесса резания каждым из нескольких зубьев инструмента. Толщина срезаемого слоя одним зубом изменяется от нуля до максимума или от максимума до нуля в зависимости от соотношения направлений вращения фрезы и её подачи.

Фрезы (рис. 4.21) различаются по различным параметрам.

По расположению зубьев на теле инструмента фрезы делят на цилиндрические, торцевые и трёхсторонние для обработки плоских поверхностей.

По способу крепления на станке различают насадные и концевые фрезы.

По виду обрабатываемой поверхности и назначению применяют цилиндрические, угловые, шпоночные, дисковые, концевые, прорезные, отрезные, пазовые, Т-образные, фасонные, резьбовые, модульные дисковые, модульные червячные, модульные шлицевые, пальцевые модульные, зуборезные и другие фрезы.

По форме зуба применяют прямозубые, косозубые, с винтовым зубом и с разнонаправленными зубьями.

По форме задней поверхности различают фрезы с острозаточенными и затылованными зубьями.

По виду материала режущей части различают фрезы из быстрорежущей стали, твёрдого сплава, керамики, синтетических твёрдых материалов.

По способу крепления режущих зубьев на теле инструмента различают фрезы цельные, сборные с напаянными пластинами, сборные с механическим креплением пластин.

По виду хвостовика для крепления инструмента в шпинделе станка различают фрезы с коническими и цилиндрическими хвостовиками.

По размеру зубьев применяют фрезы с мелкими и крупными зубьями.

Зубья 4 фрезы (рис. 4.21, а) имеет главную режущую кромку 2, переднюю 1, заднюю 3 и затылочную 5 поверхности.

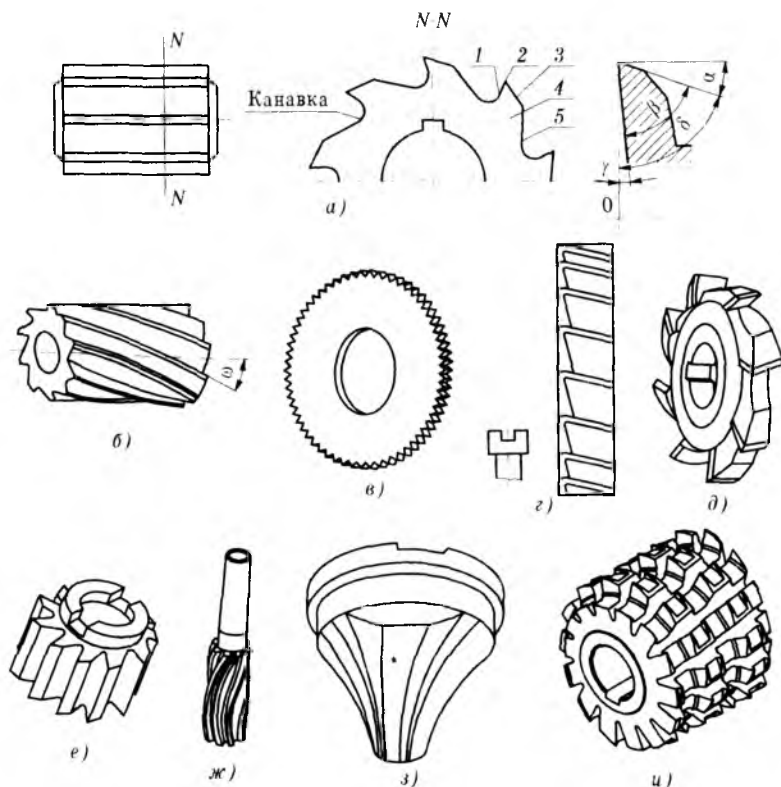


Рис. 4.21. Общий вид инструментов для фрезерования заготовок:

- а — цилиндрическая прямозубая фреза;
- б — цилиндрическая с винтовыми зубьями фреза;
- в — дисковая пазовая фреза; г — дисковая двухсторонняя косонозубая фреза; д — дисковая трёхсторонняя с разнонаправленными зубьями фреза;
- е — торцевая фреза с косыми зубьями; ж — концевая с винтовыми зубьями фреза; з — пальцевая модульная фреза;
- и — червячная модульная фреза

Если рассматривать зуб фрезы в сечении плоскости $N-N$, перпендикулярной к главной режущей кромке, то можно увидеть следующие углы, как и у токарного резца: передний — γ , задний α , заострения β и резания δ .

Передний угол γ служит для формирования и схода срезанной стружки и оказывает влияние на её усадку. При обработке чугуна $\gamma = 10^\circ \dots 15^\circ$, при обработке стали $\gamma = 10^\circ \dots 20^\circ$, то есть для твёрдых материалов величину угла γ принимают меньше, а для мягких — больше.

Задний угол α предназначен для уменьшения трения между задней поверхностью зуба и заготовкой (поверхностью резания). Для различных фрез угол $\alpha = 12^\circ \dots 25^\circ$.

Зубья цилиндрических фрез могут быть прямыми или винтовыми под углом ϕ к оси фрезы (рис. 4.21, б). У цилиндрических фрез угол $\phi = 30^\circ \dots 40^\circ$, у дисковых и торцовых $\phi = 10^\circ \dots 25^\circ$.

Фреза с прямыми зубьями врезается в обрабатываемую поверхность сразу же всей длиной зуба, что приводит к неравномерному нагружению узлов станка (станок испытывает толчки). Вибрации и толчки при резании ухудшают параметры качества обработанной поверхности.

Фрезы с винтовыми зубьями работают плавно, поэтому детали и узлы станка испытывают более равномерное нагружение, так как зубья фрезы врезаются в деталь постепенно.

Фрезы изготавливают из углеродистой инструментальной стали марки У12А (фрезы малых диаметров) для обработки мягких и средней твёрдости сталей при малых скоростях резания, а также из легированных сталей 9ХС, ХВ5 и ХВГ для работы при небольших скоростях резания и малых подачах. Хорошие результаты достигаются при использовании быстрорежущих сталей Р6М5 и Р6М5К5. При обработке жаропрочных и нержавеющей сталей применяют фрезы из быстрорежущей стали Р9К5, Р9К10, Р9Ф5, Р18Ф2, Р18К5Ф2 и др.

При черновом фрезеровании сталей применяют пластинки из твёрдых сплавов марок ВК4, ВК8, Т15К6, Т14К8 и Т15К10; при чистовом — из твёрдых сплавов марок Т5КЮ, Т14К8, Т15К6, Т30К4 и др. Для черновой и чистовой обработки серого чугуна применяют твердосплавные пластинки марок ВК4, ВК6 и ВК8, а также минералокерамические пластинки на основе Al_2O_3 . Корпусы фрез изготовляют из сталей 40, 40Х, У8 и др.

Фрезы с наружным диаметром 5...32 мм из твёрдых сплавов выпускают монолитными и используют их при интенсивных режимах резания.

4.3.4. Инструмент для шлифования

Разнообразие форм шлифовального инструмента зависит от методов шлифования. Шлифование широко используется в авиационной и автомобильной промышленности, при изготовлении подшипников, в инструментальном производстве, радиоэлектронике, часовом производстве и многих других отраслях, особенно точного машиностроения и приборостроения. Шлифование также широко применяется на металлургических заводах для обдирки литейной корки с поверхности слитков или окислов и окалины с поверхности поковок. Обработка резанием большой группы современных материалов (твёрдые сплавы, керамика, ферриты, ситаллы, германий, кремний и др.), а также чистовая обработка тугоплавких сплавов и других труднообрабатываемых материалов возможна практически только шлифовальным и алмазным инструментами.

Отделочные (окончательные) способы шлифования обеспечивают высокую точность (до 0...1 квалитетов) и высокое качество поверхностного слоя (до $Ra = 0,01$ мкм).

Шлифовальные (абразивные) инструменты представляют собой изделия, в которых режущим элементом являются зёрна абразивного материала, закрепляемые связкой или свободно располагающиеся относительно друг друга в газо-

вой или жидкой среде. Шлифовальный инструмент применяется для обработки различных материалов и поверхностей, в связи с чем отличается большим многообразием. Наиболее часто применяют круги, головки, сегменты, бруски, шкурки, пасты, суспензии и порошки. Кроме формы и размеров они могут характеризоваться маркой абразивного материала, зернистостью, твёрдостью, материалом связки, структурой, классом точности инструмента и классом дисбаланса.

Алмазные круги и бруски дополнительно характеризуются концентрацией и маркой алмазов.

Абразивные материалы, используемые для изготовления шлифовального инструмента, делят на искусственные и естественные.

В промышленности для изготовления абразивных инструментов используются главным образом искусственные абразивные материалы: электрокорунд нормальный, электрокорунд белый, монокорунд, карбид кремния чёрный, карбид кремния зелёный, карбид бора, синтетические алмазы, кубический нитрид бора (эльбор).

Электрокорунд. Подавляющая часть (около 80 %) абразивного инструмента изготавливается из электрокорунда, который получают путём плавки глинозёма в электрических печах. Основная составляющая электрокорунда — кристаллическая окись алюминия. В зависимости от содержания Al_2O_3 и примесей электрокорунд имеет различные цвет, структуру и свойства. Микротвёрдость его составляет 0,176...0,235 ГПа, плотность — $(3,93...4,01) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Существует несколько разновидностей электрокорунда: (13А...16А) — электрокорунд нормальный (91...96 % Al_2O_3); (22А...25А) — электрокорунд белый (97...99 % Al_2O_3), 34А — электрокорунд хромистый, 37А — электрокорунд титанистый и (43А...45А) — монокорунд, зерна которого представляют собой отдельные кристаллы и имеют большое число режущих кромок. Прочные зерна хромистого и титанистого электрокорунда, а также монокорунда имеют

более высокие режущие свойства, чем электрокорунд нормальный и белый.

Карбид кремния SiC — химическое соединение кремния с углеродом, получается при плавке кварцевого песка и кокса. Зёрна SiC имеют более высокую твёрдость, чем электрокорунд. Применяются две разновидности карбида кремния: чёрный карбид кремния (95...97 % SiC) и зелёный карбид кремния (98...99 % SiC). Недостаток карбида кремния — высокая хрупкость и малая прочность. Поэтому для обработки сталей он непригоден. Карбид кремния применяется при абразивной обработке хрупких материалов: чугунов, бронзы, титановых и тугоплавких сплавов, металло- и минералокерамики.

Карбид бора B_4C — химическое соединение бора с углеродом, получают плавлением борной кислоты с нефтяным коксом. Карбид бора имеет высокую твёрдость, большую хрупкость и применяется в виде порошков для доводочных процессов и при ультразвуковой обработке хрупких материалов.

Синтетические алмазы AC получают в виде мелких кристаллов размером обычно не более 1,0 мм. Синтез алмазов происходит в результате воздействия на графит высоких давлений 16,7 ГПа и высоких температур (до 2500 °С). В присутствии металлического катализатора происходит перекристаллизация углерода из гексагональной структуры графита в кубическую решётку алмаза. Синтетические алмазы в зависимости от прочности делятся на пять марок, низкой прочности — АСО, повышенной прочности — АСП, высокой прочности — АСВ, монокристалльные АСК и АСС.

Кубический нитрид бора (КНБ, боразон или эльбор L) состоит из 44 % бора и 56 % азота; по твёрдости он уступает лишь алмазу, а по теплостойкости он превосходит алмаз в 2 раза. Круги из эльбора наиболее эффективны при чистовом шлифовании, заточке и доводке инструментов из быстрорежущих сталей повышенной производительности (высокованадиевых и кобальтовых).

К естественным материалам относятся кварц (кремнезём SiO_2), наждак, корунд и алмаз. Природные абразивные материалы, за исключением алмаза, имеют низкие режущие свойства и для абразивной обработки металлов практически не применяются.

Природный алмаз А — минерал, состоящий из кристаллического углерода. Природные технические алмазы содержат небольшие примеси окислов алюминия, железа, кальция, кремния марганца, которые придают им различный цвет. Атомы углерода в кристаллической решётке алмаза очень прочно связаны, что обеспечивает высокую твёрдость и износостойкость. Твёрдость алмаза по шкале Мооса равна 10, микротвёрдость — $10\,060 \text{ кгс/мм}^2$ (98,2 ГПа), модуль упругости 880 ГПа, плотность $3,52 \cdot 10^6 \text{ г/м}^3$. Вследствие высокой твёрдости, большой теплопроводности (в 5 раз выше, чем у твёрдого сплава Т15К6, и в 10 раз выше, чем у карбида кремния) и малому коэффициенту трения натуральные алмазы (марок АМ и АН) обладают высокими режущими свойствами, особенно при обработке очень твёрдых неметаллических материалов. Недостатки алмазов: высокая хрупкость (прочность на изгиб 294 МПа), большая способность к адгезии с титаном, сталью и другими металлами, сравнительно низкая теплостойкость (800...900 °С).

Натуральные технические алмазы применяют преимущественно для изготовления алмазных резцов, наконечников к приборам, фильер для волочения, для правки шлифовальных кругов.

Зернистость абразивных материалов. Абразивные материалы подвергаются дроблению, обогащению и сортировке на зернистость. В соответствии с положениями стандарта по крупности они делятся на три группы:

- шлифовальные зёрна от № 200 до № 16 (имеют зёрна основной фракции размером от 2000 до 160 мкм);
- шлифовальные порошки от № 12 до № 3 — зёрна от 125 до 28 мкм;
- микропорошки от М40 до М5 (зёрна от 40 до 3 мкм).

Сортировка зёрен от № 200 до № 3 производится просеиванием порошкового материала через сита. Зернистость определяется размером стороны ячейки сита (в сотых долях миллиметра). Например, зерно № 16 просеивается через сито с размером ячейки 0,16 мм и остаётся на сите с размером ячейки 0,12 мм. Размеры зёрен микропорошков определяются микроскопическим методом измерения или фотоэлектрическим — по скорости осаждения зёрен в жидкой среде.

Алмазные зёрна (по ГОСТ 9206-70) делятся на две группы:

- шлифпорошки, получаемые путём просеивания на ситах с контролем зернистости ситовым методом (12 номеров зернистости от 630/500 до 50/40);
- микропорошки, получаемые путём отбора осаждаемых в жидкости фракций с последующим контролем размера зёрен под микроскопом (11 номеров зернистости от 60/40 до 1/0). Зернистость алмазов обозначается дробью, в которой значение в числителе соответствует наибольшему, а в знаменателе — наименьшему размеру зёрен основной фракции.

В РФ осуществляется промышленное производство алмазных микропорошков, т.е. порошков с размером зёрен 0,7; 0,5; 0,3 и 0,1 мкм. С помощью паст на основе микропорошков на поверхности обрабатываемых заготовок получают минимальную высоту неровностей и незначительную толщину дефектного слоя.

Связующие вещества (связки). Свойства связок оказывают большое влияние на эффективность работы абразивных зёрен. Применяют связки трёх видов: неорганические, органические и металлические. К неорганическим связкам относятся керамическая, магнезиальная и силикатная. Наиболее распространена керамическая связка К, из которой изготовляют более 50 % всего абразивного инструмента. В её состав входят огнеупорная глина, полевои шпат, тальк и др. Инструменты, изготовленные на керамической связке, теп-

лостойки, прочны, обладают химической стойкостью и не боятся влаги. Их недостаток — большая хрупкость.

Органические связки — бакелитовая Б, глифталиевая Г и вулканитовая В. Бакелитовая связка, наиболее распространённая среди органических связок, изготавливается из фенолформальдегидной смолы. Инструмент на бакелитовой связке прочен, эластичен и допускает большие окружные скорости. Однако его химическая и тепловая стойкости невысокие. Глифталевая связка состоит из глицерина и фталиевого ангидрида. Круги на глифталевой связке имеют повышенную упругость и применяются на чистовых и доводочных работах. Вулканитовая связка состоит из каучука и серы, обладает высокой прочностью и эластичностью. Вулканитовая связка позволяет изготавливать очень тонкие круги (0,5 мм) с относительно большим диаметром (150 мм). Инструмент на этой связке применяется для отрезных и прорезных операций, а также при бесцентровом шлифовании.

Металлические связки, состоящие из металлической основы (порошков меди, олова, алюминия и др.) и наполнителя, применяют в алмазных кругах и частично в кругах из карбида кремния для электроалмазного шлифования. Металлические связки МИ и МК на медной основе имеют в качестве наполнителя карбид кремния и электрокорунд, связка М5 имеет основу из алюминия и меди, связка М1 имеет основу из меди и олова. Металлические связки прочнее удерживают зёрна и обеспечивают более эффективное использование режущих свойств алмазов, чем органические связки.

Твёрдость абразивных инструментов. Твёрдость инструмента является его важной характеристикой. Под твёрдостью абразивного инструмента понимается сопротивление связки вырыванию абразивных зёрен под действием внешних сил. Установлено семь классов твёрдости (табл. 4.3). Обозначение степени твёрдости в каждом классе идёт в возрастающем порядке.

Таблица 4.3

Шкала твёрдости абразивных инструментов

Класс твёрдости	Обозначение	Степени твёрдости
Мягкий	М	М1, М2, М3
Среднемягкий	СМ	СМ1, СМ2
Средний	С	С1, С2
Среднетвёрдый	СТ	СТ1, СТ2, СТ3
Твёрдый	Т	Т1, Т2
Весьма твёрдый	ВТ	ВТ1, ВТ2
Чрезвычайно твёрдый	ЧТ	ЧТ1, ЧТ2

Определение и контроль твёрдости абразивных инструментов производится по глубине лунки, получаемой на специальных приборах: пескоструйном, приборе Роквелла и ТКН (твердомер конусный). В инструментах класса А равномерность твёрдости находится в пределах одной степени, а для класса Б — в пределах двух степеней.

При выборе твёрдости абразивных инструментов учитывают физико-механические свойства обрабатываемого материала, требования к точности и качеству поверхности.

Структура абразивного инструмента. Под структурой абразивного инструмента понимают процентное соотношение объёмов зёрен V_z , связки V_c и пор V_n ($V_z + V_c + V_n = 100\%$). Различают четыре группы структур абразивных инструментов (рис. 4.22): плотные (№ 0...3); среднеплотные (№ 4...6); открытые (№ 7...12); высокопористые (№ 13...18).

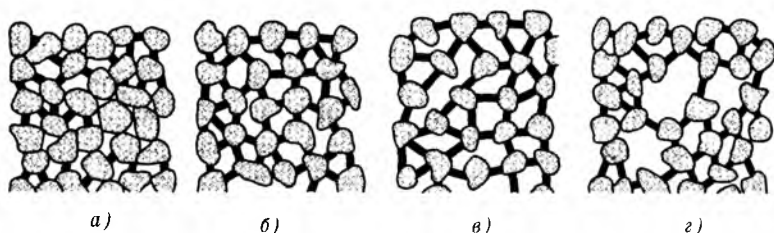


Рис. 4.22. Структуры абразивных инструментов:
 а — плотная; б — среднеплотная; в — открытая; з — высокопористая

Нулевая структура имеет минимальное расстояние между зёрнами и наибольший их объём ($V_z = 62\%$). При повышении номера структуры на единицу, объём абразивных зёрен V_z уменьшается на 2 %. У высокопористых кругов объём пор может достигать 75 % объёма круга, и величина пор часто превышает размеры зёрен материала, из которого они изготовлены. Высокая пористость придаёт инструментам более лёгкий вес, лучшие условия охлаждения зёрен и отвода стружки. Однако такие круги менее прочны и хуже сохраняют размер и форму.

Выбор структуры абразивного инструмента зависит от его назначения, свойств обрабатываемого материала и других условий обработки. Инструменты с плотной структурой применяются главным образом для доводочных работ и в тех случаях, когда следует дольше сохранить его профиль. Наиболее часто применяют инструменты среднеплотной структуры. Открытые и высокопористые круги применяют при абразивной обработке очень вязких металлов, работе без охлаждения и при обработке металлов, склонных к появлению прижогов.

Под концентрацией алмазов понимают содержание алмазных зёрен в единице объёма алмазоносного слоя. За 100 % концентрации алмазов принято содержание 0,878 мг алмазных зёрен в 1 мм³ (или 4,39 карата в 1 см³) алмазоносного слоя. Алмазные инструменты изготавливают с концентрацией содержания алмазов 25; 50; 100 и 150 %.

Номенклатура абразивных инструментов. Применяемые для абразивной обработки цельные и составные инструменты в зависимости от формы делятся на четыре группы: шлифовальные круги, головки, сегменты и бруски. Современная промышленность выпускает 736 стандартных типоразмеров абразивных инструментов. Стандартом предусмотрен выпуск 22 форм шлифовальных кругов диаметром 3...1060 мм. Наиболее распространёнными формами абразивных и алмазных инструментов являются круги плоского прямого профиля с выточкой и без неё, диски,

тарелки, чашки цилиндрические и конические, головки и бруски.

В кругах прямого профиля, а также в головках и брусках рабочей поверхностью является периферийная, а в чашечных и тарельчатых — торцовая часть. Круги типа дисков применяются для выполнения отрезных и прорезных работ и шлифования глубоких узких пазов.

Алмазные инструменты, в отличие от обычных абразивных изделий, изготавливаются не сплошными в сечении. Они имеют алмазоносный слой толщиной не более 3 мм, закреплённый на металлическом корпусе.

Распространённым абразивным инструментом является шлифовальная шкурка Ш, имеющая один или два слоя абразивных зёрен, приклеенных к гибкой основе. Гибкость шкурки и небольшая толщина позволяют применять её для обработки фасонных поверхностей, труднодоступных мест и т.п.

Маркировка абразивных инструментов. При маркировке абразивных инструментов в определённом порядке указываются все его характеристики: материал абразивных зёрен, зернистость, твёрдость, вид связки, номер структуры, класс инструмента, форма и размеры круга, допустимая окружная скорость. Например: 34А 40 С2 К5А; ПП 200×16×32; 35 м/с — электрокорунд хромистый, зернистость № 40, твёрдость С2, связка керамическая (может указываться регламент, например 51), структура № 5 класс точности А; круг формы ПП, наружный диаметр 200 мм, ширина 16 мм, диаметр посадочного отверстия 32 мм, окружная скорость не более 35 м/с.

При маркировке алмазных кругов указывается марка алмазов и зернистость, их концентрация, тип связки, форма и размеры круга, номер круга, завод-изготовитель. Например: АСВ 125/100 Р-100 % М1, АПП 150×10×3×32, № 10 275 ТЗАИ — алмаз синтетический марки АСВ, шлифпорошок с размером зёрен основной фракции от 100 до 125 мкм, концентрация алмазов 100 %, связка металли-

ческая марки М1, круг формы АПП с наружным диаметром 150 мм, шириной 10 мм, толщиной алмазоносного слоя 3 мм, диаметр отверстия 32 мм, номер круга 10 275, Томилинский завод алмазного инструмента.

4.4. Основные виды обработки заготовок на станках:

**токарные, сверлильные, фрезерные,
шлифовальные, зубообрабатывающие,
строгальные, долбежные и протяжные**

4.4.1. Токарные работы

На токарных станках выполняется большое разнообразие работ. Выбор металлорежущего оборудования зависит от серийности производства, конструктивных особенностей обрабатываемых заготовок, заданных параметров точности и качества обрабатываемой поверхности. Все виды токарных работ можно выделить в ряд обобщённых групп: обтачивание (точение в центрах, в патроне и на планшайбе); растачивание отверстий; торцевое точение; разрезка заготовок и подрезка торцов; точение конических и фасонных поверхностей, нарезание резьбы и т.д.

Обтачивание. Обтачивание наружных цилиндрических поверхностей производится проходными резцами с использованием приспособлений: кулачковых и поводковых патронов, планшайб, центров, подвижных и неподвижных люнетов и др. Поводковые патроны и планшайбы необходимы для передачи вращательного движения от шпинделя коробки скоростей к заготовке. Кулачковые патроны обеспечивают такую передачу движения с помощью зажимных кулачков, которые перемещаются по радиальным пазам корпуса патрона. Перемещение кулачков достигается различными приводами на основе поворота рычагов, перемещения штока пневмо- и гидроцилиндров, изгиба пластинок и на основе других физико-механических эффектов. При ручном пере-

мещении кулачков с помощью ключа вращают диск с архимедовой спиралью, во впадины которой заходят выступы кулачков. Вращение диска в ту или другую сторону обеспечивает схождение к центру или расхождение от центра кулачков, обеспечивая закрепление или освобождение заготовки. В таких самоцентрирующих патронах обрабатывают детали длиной не более четырёх диаметров. При большей длине свободный конец заготовки подпирают центром, устанавливаемым в пустотелый шпиндель (пиноль) задней бабки.

При обработке длинных деталей ($L/D > 10...12$) для предохранения их от прогиба применяют устройства, увеличивающие число подвижных опор для заготовки. Эти устройства, которые по своей конструкции могут быть подвижными и неподвижными, называют люнетами. На рисунке 4.23 показана схема точения в центрах с применением неподвижного люнета.

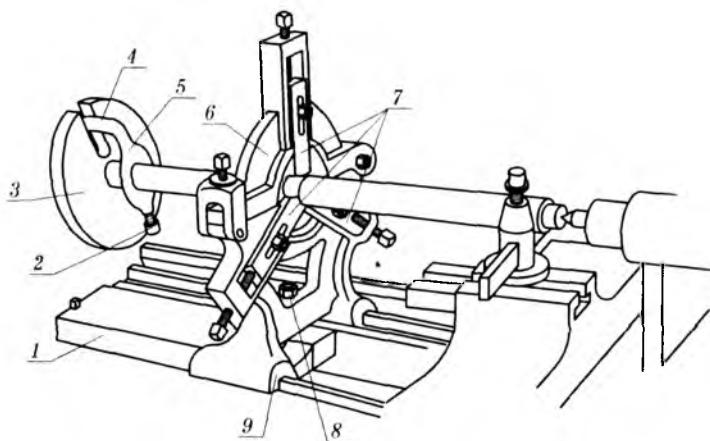


Рис. 4.23. Обработка заготовки с применением неподвижного люнета:

- 1 — направляющие станины станка; 2 — винт, крепящий хомут; 3 — планшайба поводковая; 4 — палец хомута; 5 — хомут; 6 — люнет; 7 — регулируемые кулачки люнета; 8 — болт с гайкой; 9 — направляющие люнета**

Деталь с подготовленными заранее центровочными отверстиями и надетым на неё хомутиком 5 устанавливается в центры и поджимается центром, установленным в пиноль задней бабки. Хомутик закрепляется на заготовке винтом 2 так, чтобы загнутый палец 4 хомутика заходил в прорезь поводковой планшайбы 3. Люнет 6, установленный основанием 9 на направляющие станка и закреплённый болтом с гайкой 8, создаёт дополнительную опору заготовке. Для удобства установки люнет делают открывающимся для того, чтобы пропустить внутрь его заготовку. Затем люнет закрывают и регулируемыми упорами 7 охватывают в трёх точках поверхность заготовки. При точении заготовки с большими скоростями для уменьшения трения в зоне скольжения упора по заготовке применяют ролики или шарики.

При обработке заготовок применяют типовые приёмы, некоторые из которых будут описаны ниже. Например, гладкие валы с отношением $3...4 < L/d < 10...12$ обрабатывают продольным точением в центрах. Вначале обтачивают один конец заготовки, а затем после поворота её на 180° обтачивают остальную часть. Перед установкой заготовки в центры в её торцах сверлят центровочные отверстия, необходимые для размещения в них конической части центров.

Ступенчатые валы обтачивают путём удаления припуска по частям. По одной из схем удаления припуска сначала обтачивается ступень с наименьшим диаметром, затем — следующая большего диаметра и в заключение — ступень с наибольшим диаметром и с наименьшим вылетом её длины. Такая схема удаления припуска позволяет самым благоприятным образом учитывать изменение жёсткости заготовки. Жёсткость заготовки уменьшается с уменьшением диаметра и с увеличением вылета части заготовки. Может быть использована схема начального удаления тех частей припуска, которые являются общими для всех ступеней заготовки, а затем общих припусков для остающихся

ся ступеней. В соответствии с этой схемой, в отличие от первой, сначала обтачивается ступень с наибольшим диаметром, а в заключение ступень с наименьшим диаметром. Здесь при переходе к последующей ступени вылет части при обработке заготовки увеличивается, но одновременно уменьшается диаметр заготовки, компенсирующий уменьшение жёсткости обрабатываемого участка. В первом случае припуск с каждой ступени срезается с использованием большей глубины резания. При этом общее время обработки уменьшается, но требуется большая мощность привода станка. Во втором случае обработку заготовки начинают с меньшей глубины резания, однако общий путь резца получается большим и резко возрастает общее время обработки.

Нежёсткие валы рекомендуется обрабатывать проходными упорными резцами с главным углом в плане $\varphi = 90^\circ$. При обработке заготовок валов такими резцами радиальная составляющая силы резания $P_y = 0$, что снижает изгиб заготовок.

Подрезание торцов заготовки выполняют перед обтачиванием наружных поверхностей. Торцы подрезают подрезными резцами на поперечной подаче с направлением движения резца к центру или от центра заготовки. При подрезании от центра к периферии поверхность торца получается менее шероховатой.

Обтачивание скруглений между ступенями валов, которые называются галтелями, выполняют проходными резцами с закруглением между режущими кромками соответствующего радиуса с продольной подачей или специальными резцами с поперечной подачей.

Протачивание канавок выполняют применением поперечной подачи с помощью прорезных резцов, у которых длина главной режущей кромки равна ширине протачиваемой канавки. Широкие канавки можно протачивать резцами с более узкой шириной режущей кромки, чем требуется, в два приёма: сначала врезаются на поперечной подаче,

а затем на продольной подаче ширину доводят до необходимых размеров.

Сверление, зенкерование и развёртывание отверстий на токарных станках выполняют соответствующими инструментами, закрепляемыми в пиноли задней бабки станка.

Растачивание внутренних цилиндрических поверхностей производят на продольной подаче расточными резцами, закреплёнными в резцедержателе станка. Гладкие сквозные отверстия растачивают расточными резцами на проход, ступенчатые и глухие обрабатывают упорными расточными резцами.

Отрезку обрабатываемых деталей выполняют отрезными резцами на поперечной подаче. При отрезке детали резцом с главной режущей кромкой параллельной оси заготовки в центре торца отрезанной части образуется обломок шейки из-за отломки детали, и торец готовой детали приходится дополнительно подрезать. Если применить резец с наклонной режущей кромкой ($\varphi < 90^\circ$) торец получается чистым.

Обтачивание наружных конических поверхностей заготовок осуществляют на токарно-винторезных станках одним из следующих способов:

- широкими токарными резцами (рис. 4.24, а). Обтачивают короткие конические поверхности с длиной образующей до 30 мм и токарными проходными резцами, у которых главный угол в плане φ равен половине угла при вершине обтачиваемой конической поверхности. Обтачивают на поперечной или продольной подаче. Данный способ используют при снятии фасок с обработанных цилиндрических поверхностей;
- поворотом каретки верхнего суппорта (рис. 4.24, б). При обработке конических поверхностей каретку верхнего суппорта поворачивают на угол, равный половине угла при вершине обрабатываемого конуса. Обрабатывают на ручной подаче верхнего суппорта под

углом к линии центров станка (S_n). Обтачивают конические поверхности, длина образующей которых не превышает величины хода каретки верхнего суппорта. Величина угла конуса обтачиваемой поверхности может быть любой;

- смещением корпуса задней бабки в поперечном направлении (рис. 4.24, в). При обтачивании конических поверхностей этим способом корпус задней бабки смещают относительно её основания в направлении, перпендикулярном к линии центров станка. Обрабатываемую заготовку устанавливают на шариковые центры. При этом ось вращения заготовки располагается под углом к линии центров станка, а образующая конической поверхности — параллельно линии центров станка. Обтачивают на продольной подаче резца длинные конические поверхности с небольшим углом конуса при вершине ($2\alpha < 8^\circ$);
- с помощью конусной линейки (рис. 4.24, г). Корпус 3 конусной линейки кронштейнами закрепляется на станине станка. На корпусе 3 имеется призматическая направляющая линейка 2, которую устанавливают под требуемым углом к линии центров станка с помощью шкалы. По направляющей перемещается ползун 1, связанный рычагом с кареткой поперечного суппорта 4. Гайку ходового винта поперечной подачи отсоединяют от каретки суппорта для обеспечения поперечным салазкам свободного возвратно-поступательного перемещения с помощью ползуна. Коническую поверхность обтачивают на продольной подаче. Продольное и поперечное перемещение резца складывается, обеспечивая результирующее его движение вдоль образующей конуса под требуемым углом к линии центров станка. Данным методом обтачивают длинные конические поверхности с углом при вершине конуса до $30...40^\circ$.

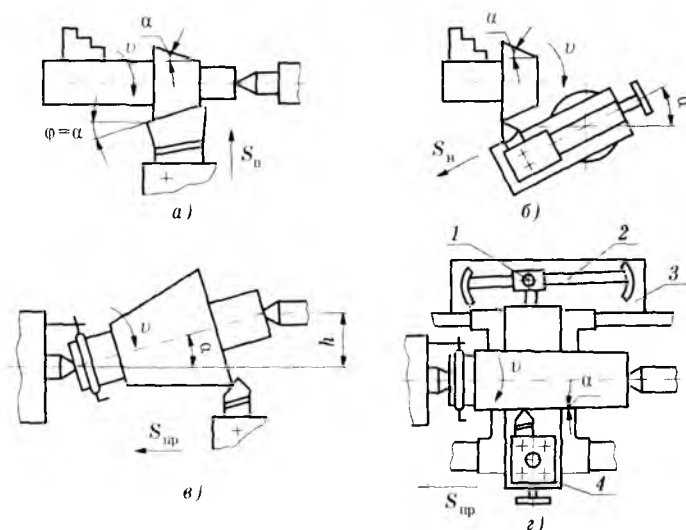


Рис. 4.24. Схемы обтачивания наружных конических поверхностей на токарно-винторезном станке:

- a* — широким резцом;
- б* — поворотом верхних салазок суппорта;
- в* — смещением центра задней бабки;
- г* — с помощью конусной линейки

Растачивание внутренних конических поверхностей производят широким резцом, поворотом каретки верхнего суппорта, с помощью конусной линейки. Часто внутренние конические поверхности обрабатывают специальными коническими зенкерами.

Обтачивание фасонных поверхностей заготовок с длиной образующей до 40 мм производят токарными фасонными резцами. По конструкции различают стержневые, круглые, призматические и тангенциальные фасонные резцы. Фасонные поверхности этими резцами обтачивают только на поперечной подаче $S_{\text{п}}$.

Фасонные поверхности на токарно-винторезных станках, как правило, обтачивают стержневыми резцами. Резцы остальных видов применяют для обтачивания фасонных по-

верхностей на токарных полуавтоматах и автоматах. Стержневые резцы закрепляют в резцедержателе токарного станка (рис. 4.25, *а*), а призматические, тангенциальные (рис. 4.25, *б*) и круглые (рис. 4.25, *в*) — в специальных державках. В отличие от стержневых, круглых и призматических инструментов тангенциальные резцы устанавливают ниже линии центров станка так, чтобы каждая точка режущей кромки резца при поперечной подаче проходила касательно к соответствующей точке фасонной поверхности обрабатываемой заготовки. Резец, проходя под заготовкой, обрабатывает фасонную поверхность до требуемого размера, т.е. при непрерывном его перемещении в направлении подачи.

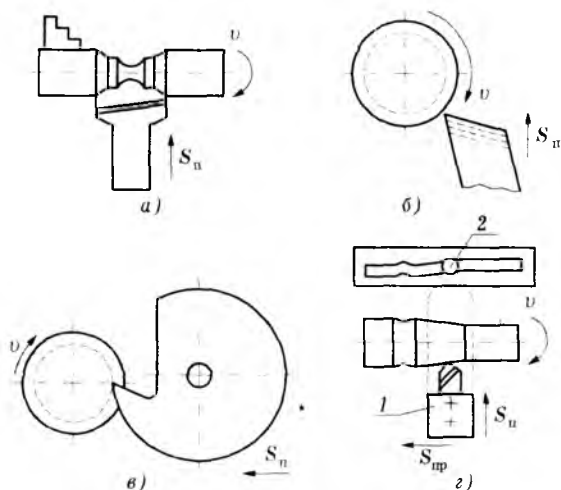


Рис. 4.25. Схемы обтачивания фасонных поверхностей:

а — стержневым фасонным резцом;

б — тангенциальным резцом;

в — круглым автоматным резцом;

г — фасонным копиром: 1 — поперечные салазки; 2 — копир

Круглые, призматические и тангенциальные резцы выдерживают значительно большее число переточек, чем стержневые при сохранении формы и размеров режущей кромки.

Длинные фасонные поверхности обрабатывают проходными резцами на продольной подаче с помощью фасонного копира, устанавливаемого вместо конусной линейки (рис. 4.25, *г*).

Нарезание резьбы на токарно-винторезных станках выполняют резцами, метчиками, плашками и гребёнками. Чаще всего наиболее точную резьбу нарезают резцами. У резцов для окончательной обработки резьбы передний угол γ должен быть равен нулю. У резцов, используемых для предварительной обработки резьбы, когда искажение профиля резьбы временно не имеет большого значения, передний угол γ задают равным величине в пределах $10...20^\circ$ для облегчения условий обработки. Углы при вершине резцов ε должны быть равны углу профиля резьбы α (для метрической он равен 60° , для дюймовой — 55°). Угол профиля резьбы α , угол при вершине резца ε , симметричность расположения угла ε относительно перпендикуляра к оси заготовки контролируют шаблоном или угломером на просвет.

В отличие от обычных резьбовых резцов резьбовые гребёнки имеют на режущей части не один, а несколько зубьев, по форме соответствующих профилю резьбы. Рабочая часть гребёнки состоит из режущих и калибрующих зубьев. Режущие зубья срезаны под углом φ так, что каждый последующий зуб режет несколько глубже предыдущего. Калибрующие зубья (два-три) предназначены для точной зачистки резьбы.

При нарезании резьбы продольный суппорт получает поступательное движение от ходового винта и раздвижной маточной гайки, смонтированной в фартуке станка. Резьба нужного шага получится в том случае, когда за один оборот заготовки резец переместится в продольном направлении на один шаг (нитку) нарезаемой резьбы.

Современные токарно-винторезные станки с коробкой подач имеют простую настройку кинематики станка на заданный шаг резьбы. Настройка этих станков состоит из установки рукояток барабана коробки подач в нужное по-

ложение по табличке, прикреплённой в зависимости от модели станка к верхней или боковой стенке коробки подач, или поворота барабана настройки станка на требуемые параметры резьбы, либо из нахождения чисел зубьев сменных шестерён и установки их в нужное положение. Станки обычно имеют два комплекта сменных зубчатых колёс. В число этих колёс входят такие колёса, числа зубьев которых позволяют с достаточной точностью выразить числа π , 25,4 (дюйм) и другие, необходимые для нарезания того или иного вида резьбы.

На токарно-винторезных станках нарезают метрические, дюймовые, модульные и специальные резьбы. Нарезание многозаходной резьбы на токарно-винторезном станке требует точного углового деления обрабатываемой заготовки при переходе от одной нитки нарезаемой резьбы к другой. Многозаходную резьбу нарезают следующими способами:

- поворотом заготовки на угол при использовании поводкового патрона с прорезями, в которые входит отогнутый конец хомутика, при повороте заготовки на угол винторезную цепь разрывают (выключают маточную гайку);
- использованием градуированного патрона, который позволяет повернуть на требуемый угол одну часть патрона вместе с заготовкой относительно другой его части;
- смещением резца на шаг резьбы с помощью ходового винта верхних салазок суппорта;
- использованием нескольких резцов со смещением их относительно друг друга в осевом направлении на величину шага нарезаемой резьбы.

Особенности обработки заготовок на токарных станках. Характер обработки заготовок на различных типах токарных станков определяется их назначением и их конструктивными особенностями. Схемы конструкций некоторых типов токарных станков представлены на рисунке 4.26.

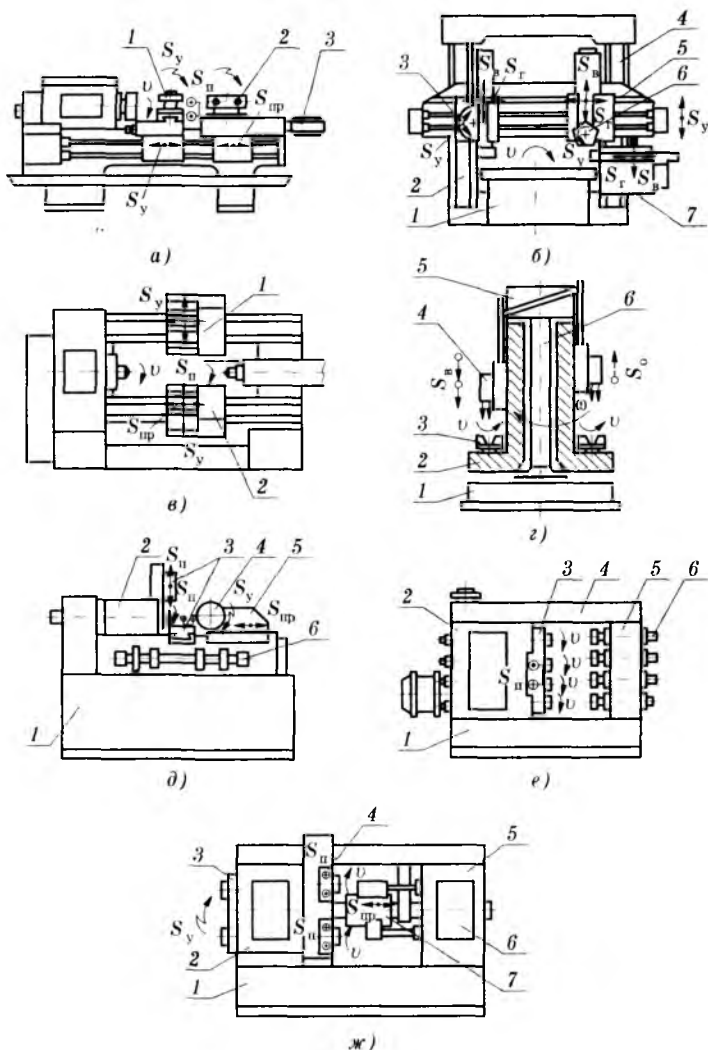


Рис. 4.26. Схемы конструкций станков токарной группы:
 а — токарно-револьверного; б — токарно-карусельного;
 в — многорезцового токарного полуавтомата; г — вертикального
 многшпиндельного полуавтомата; д — одношпиндельного
 токарно-револьверного автомата; е — многшпиндельного
 автомата параллельной обработки; ж — многшпиндельного
 автомата последовательной обработки

Токарно-револьверные станки (рис. 4.26, а) отличаются от токарно-винторезных отсутствием ходового винта и задней бабки, вместо которой установлена револьверная головка 2 для крепления в ней различных инструментов. Закреплённый в головке инструмент может использоваться в определённой последовательности. Заготовки могут иметь сравнительно сложную форму и представлять прутковый прокат, отливки, штампованные или прессованные поковки. Благодаря большой степени механизации вспомогательных движений, снижению затрат времени на смену инструмента, одновременной работе нескольких инструментов револьверные станки являются более производительными по сравнению с токарными. Вместе с тем сложность наладки этих типов станков оправдывает их использование лишь в серийном производстве. Предварительная наладка станка делает возможной обработку заготовок по упорам, которые конструктивно выполняются в виде блока 3 на станке. Поворотная револьверная головка монтируется на продольном суппорте и вместе с ним совершает поступательное движение, ускоренный подвод и отвод инструмента, рабочее движение подачи инструмента в процессе резания. Револьверные головки могут иметь разные конструкции с вертикальной и с горизонтальной осью поворота. По числу гнезд для закрепления инструмента наиболее часто применяются шестигранные револьверные головки. Наличие поперечного суппорта 1 у револьверных станков повышает технологические возможности станка. Станки с горизонтальной осью вращения револьверной головки не имеют поперечного суппорта, а инструменты, для работы которых требуется поперечная подача (отрезные, дисковые фасонные, фасочные, прорезные резцы), получают её за счёт медленного вращения головки вокруг своей оси.

Токарно-карусельные станки (рис. 4.26, б) предназначены для обработки крупногабаритных заготовок типа шкивов, дисков, маховиков, массивных зубчатых колёс, у которых отношение высоты к диаметру не превышает 0,4...0,7. План-

шайба карусельного стола 1, на которой закрепляется заготовка, имеет вертикальную ось вращения, что облегчает её установку и выверку положения для обработки. Диаметр карусели может достигать 21 м. В одностоечных токарно-карусельных станках устраиваются револьверный и боковой суппорты. У двухстоечных (стойки 2 и 4) станков предусмотрен ещё верхний инструментальный суппорт 3. Револьверная головка 6 и боковой суппорт 7 устанавливаются на движущейся вверх-вниз траверсе (поперечине) 5. Каждый из суппортов имеет вертикальную и горизонтальную подачи инструмента. Одновременная обработка несколькими инструментами повышает производительность обработки.

Многорезцовые токарные полуавтоматы (рис. 4.26, в) предназначены для обработки только наружных поверхностей заготовок ступенчатых валов, блоков зубчатых колёс, шпинделей и др. Заготовки устанавливают в центры. В станке смонтированы два суппорта: верхний и нижний. Верхний суппорт 1 имеет только поперечное перемещение, а нижний суппорт 2 — только продольное. Наладка этих станков сопряжена с большой трудоёмкостью работ, так как требует двухкоординатной выверки установки резцов.

Одношпиндельные и многошпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы (рис. 4.26, г-ж) используются в крупносерийном и массовом производствах изделий для многоинструментальной обработки заготовок. Токарные автоматы и полуавтоматы бывают одно- и многошпиндельные. В зависимости от расположения шпинделей их делят на горизонтальные и вертикальные. Одношпиндельные автоматы производятся трёх видов: фасонно-отрезные, фасонно-продольные и токарно-револьверные.

Фасонно-отрезные автоматы применяют для изготовления коротких и несложных деталей. Резцам сообщается радиальная подача, а вращательное движение получает резцовая головка, через которую пропускаются проволока диаметром до 8 мм, свёрнутая в бухту и остающаяся при резании неподвижной, или прутки диаметром до 25 мм.

Фасонно-продольные автоматы применяют для обработки длинных заготовок диаметром до 18 мм. У них передняя бабка сообщает заготовке вращательное движение и продольное перемещение. Четыре-пять суппортов, расположенные вокруг заготовки, получают только поперечное перемещение. Для предотвращения прогиба заготовки используется подвижный люнет вблизи резцов.

Токарно-револьверные автоматы применяют для сложной обработки наружной и внутренней поверхностей заготовок с применением большого числа разнообразных инструментов. В качестве заготовок на этих автоматах используются калиброванные прутки или, при наличии бункера, штучные заготовки. В гнезда револьверной головки закрепляют инструмент, блоки резцов, концевые инструменты и т.д. Боковой суппорт обеспечивает продольное перемещение дополнительному инструменту.

Многошпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы (до 4...12 шпинделей) выпускаются для высокопроизводительной токарной обработки заготовок с горизонтальным и вертикальным расположением шпинделей. На этих станках производится обработка как штучных заготовок, так и заготовок в виде прутков и труб.

На многошпиндельных станках реализуются три схемы обработки заготовок: параллельная обработка заготовок, последовательная обработка заготовок и роторная обработка заготовок. При параллельной обработке на всех позициях инструментом, закреплённым во всех шпинделях, выполняется один и тот же переход. В конце обработки получают одновременно несколько деталей по числу шпинделей.

При последовательной обработке полный цикл обработки деталей разбивается на ряд переходов, каждый из которых последовательно выполняется в определённой позиции одним шпинделем.

При обработке по роторной схеме на каждой позиции последовательно обрабатывается сразу несколько заготовок.

На рисунке 4.26, *г* показана схема вертикального многошпиндельного полуавтомата роторной обработки. На станине 1 установлен круглый стол 2 с вращающимися шпинделями 3, в которых одновременно обрабатывается несколько заготовок по числу шпинделей на центральной колонне, выполненной заодно со столом, а также закреплены суппорты 4, совершающие вертикальные движения подачи. Стол и подвижная колонна (общая карусель) вращается со скоростью ω вокруг неподвижной колонны 6, на верхнем конце которой закреплён кулачок 5 подач суппортных групп. Обработку ведут инструменты вертикальных суппортов. Полная обработка осуществляется за оборот карусели и колонны. На станках обрабатывают заготовки деталей типа зубчатых колёс, дисков турбин и др.

На рисунке 4.26, *д* показана схема одношпиндельного токарно-револьверного автомата, на котором ведётся обработка заготовок деталей разных наименований, но небольших размеров (диаметром до 36 мм). Шпиндельная бабка 2 автомата снабжена цанговым патроном, механизмами зажима и подачи прутка. На станине 1 и шпиндельной бабке установлены поперечные суппорты 3, имеющие только поперечные подачи. Также на станине закреплён ещё один суппорт 5 продольной подачи с револьверной головкой 4. Всеми движениями в автомате (рабочими, установочными и вспомогательными) управляет кулачковый распределительный вал 6. Весь цикл обработки заготовки совершается автоматически, что обеспечивает ей высокую производительность. Автоматы применяются для обработки больших партий деталей.

Многошпиндельные автоматы параллельной обработки (рис. 4.26, *е*) широко распространены в массовом производстве. Эти автоматы обладают жёсткой конструкцией, что даёт возможность вести многоинструментальную обработку. На станине 1 станка установлены передняя 2 и задняя 5 стойки, соединённые сверху поперечиной 4. На торце передней стойки установлены передний и задний поперечные суппорты 3. В задней стойке установлены упоры 6. Заго-

товки перед обработкой пропускаются через полые шпиндели и закрепляются. Одновременно обрабатываются наружные поверхности всех установленных одинаковых заготовок деталей.

Последовательная обработка заготовок проводится на многошпиндельных автоматах, один из которых показан на рисунке 4.26, ж. На станине 1 установлены передняя 2 и задняя 5 стойки; в передней стойке смонтирован шпиндельный блок 3, а в задней — коробка скоростей 6. Обработка ведётся инструментами, закреплёнными в поперечных суппортах 4, которые установлены у каждого шпинделя, и в зажимных устройствах кареток осевого суппорта 7. Каретки установлены на одной оси со шпинделями, рядом с которыми они располагаются. Поворот шпиндельного блока влечёт за собой подачу заготовки на следующую позицию, где продолжается её обработка новым набором инструментов. Предпоследняя позиция является позицией окончательной обработки и отрезки готовой детали от прутка. На следующей позиции пруток подаётся до упора, а далее повторяется новый цикл обработки.

4.4.2. Обработка заготовок на сверлильных и расточных станках

Сверлением называется процесс получения сквозных или глухих отверстий в сплошном материале. Разновидность сверления — рассверливание представляет обработку уже имеющегося отверстия с целью увеличения его диаметра. Обработка отверстий на сверлильных станках производится свёрлами, зенкерами, развёртками, метчиками и другими инструментами. Отверстие в сплошном материале получают сверлом с точностью обработки не выше 11...13 качества и с шероховатостью поверхности $Rz = 40...80$ мкм.

Растачивание представляет собой процесс обработки внутренних цилиндрических поверхностей с помощью расточных резцов. Расточными резцами ведут обработку в за-

ранее отформованных отверстиях с припуском на обработку, чтобы получить отверстия с точно координированными осями. Растачивают чаще всего средне- и крупногабаритные заготовки корпусных деталей. На расточных станках, как и на сверлильных, применяют осевые инструменты, но чаще используют расточные резцы.

Для более точных отверстий сверление и однократное растачивание являются предварительной обработкой, подготавливающей отверстие к последующей более точной обработке зенкерованием и развёртыванием.

На сверлильных станках осуществляются два рабочих движения сверла: вращательное вокруг своей оси (главное движение сверла) и поступательное, параллельно оси (движение подачи сверла). Расточные станки также имеют два рабочих движения: вращение инструмента (главное движение) и перемещение инструмента или заготовки (движение подачи).

Зенкерование представляет собой процесс обработки зенкерами отверстий заготовки, полученных сверлением, литьём, ковкой или штамповкой. Зенкерование применяется для обработки торцовых поверхностей, приливов, бобышек, цилиндрических или конических углублений под головки винтов. Зенкеры в отличие от свёрл имеют 3...4 режущих кромки, обеспечивающих точность размеров в пределах 8...11 качества, и шероховатость $R_z = 10...40$ мкм.

Развёртывание представляет собой окончательную обработку отверстий после чистового растачивания или зенкерования. Развёртка отличается от зенкера тем, что снимает значительно меньший припуск и имеет большее число зубьев. Это обеспечивает точность размеров отверстия в пределах 6...7 качества, и шероховатость $R_a = 0,16...0,32$ мкм.

На сверлильных станках кроме сверления, зенкерования и развёртывания отверстий выполняют следующие работы:

- цекование — обработку поверхности торцевым зенкером для достижения перпендикулярности её к оси отверстия;

- зенкование — получение в имеющихся отверстиях цилиндрических и конических углублений под головки винтов, болтов, заклёпок с помощью зенковок;
- нарезание резьбы с помощью метчиков;
- получение отверстий сложного профиля с помощью комбинированного режущего инструмента.

Особенности обработки заготовок на сверлильных станках. Характер обработки заготовок на различных типах сверлильных станков определяется их назначением и их конструктивными особенностями. Схемы конструкций некоторых типов сверлильных станков представлены на рисунке 4.27.

Вертикально-сверлильные станки (рис. 4.27, *a*) предназначены для обработки отверстий в разных по размерам заготовках, которые крепятся на столе станка тисками или прижимами. На крупных вертикально-сверлильных станках обрабатывают крупногабаритные заготовки, закрепляемые на фундаментной плите (столе). В конструкции вертикально-сверлильного станка следует выделить корпус в виде колонны 2, установленный на фундаментной плите 1. На вертикальных направляющих колонны устанавливаются стол 3 и сверху колонны — сверлильная головка 5, в которой размещены коробка скоростей и коробка подач. Инструмент закрепляется в шпинделе 4, который получает вращательное движение и движение подачи. Исходное положение перед обработкой достигается перемещением стола с заготовкой и сверлильной головки по направляющим колонны.

В вертикально-сверлильных станках настольного типа подача сверла осуществляется вручную, так как коробка подач отсутствует. Эти станки применяются для сверления отверстий малого диаметра (до 3 мм; до 6 мм; до 12 мм) и имеют высокие частоты вращения (до 16000 мин⁻¹). Коробка скоростей у этих станков чаще всего отсутствует.

Недостатком вертикально-сверлильных станков является необходимость перемещения заготовки для совмещения осей обрабатываемого отверстия и инструмента.

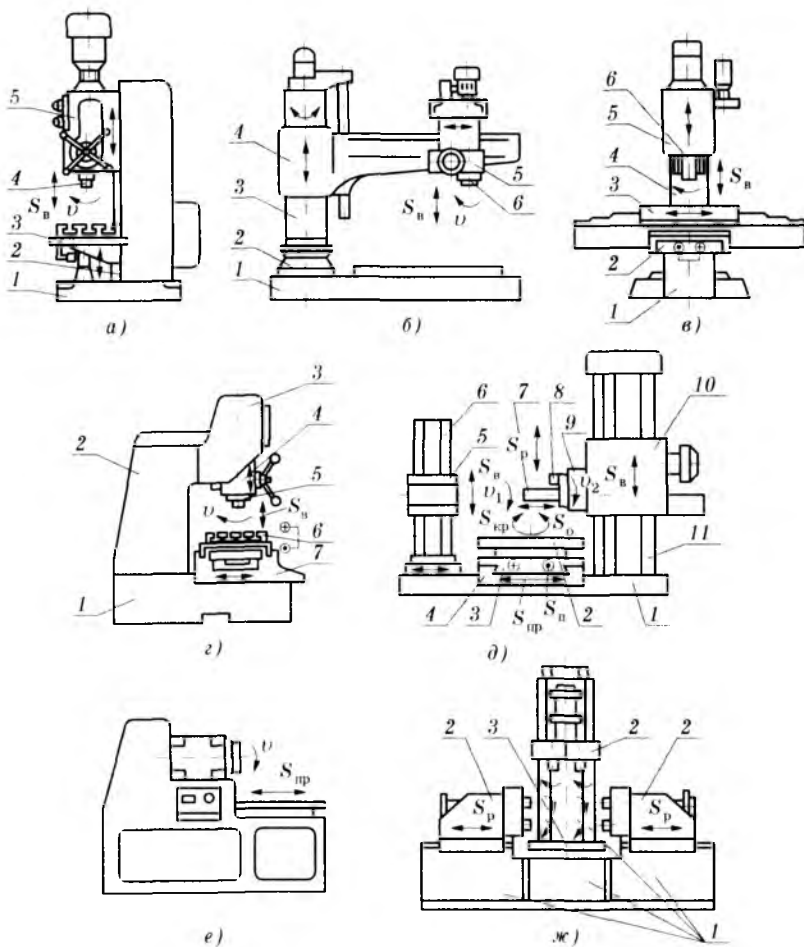


Рис. 4.27. Схемы конструкций сверлильных и расточных станков:
 а — вертикально-сверлильного;
 б — радиально-сверлильного;
 в — радиально-сверлильного с ЧПУ;
 г — координатно-расточного;
 д — горизонтально-расточного;
 е — алмазно-расточного;
 ж — агрегатного полуавтомата

Радиально-сверлильные станки (рис. 4.27, б) свободны от названного недостатка вертикально-сверлильных станков. В их конструкции присутствует круглая в сечении неподвижная колонна 2, закреплённая на фундаментной плите 1. По колонне в вертикальном направлении может перемещаться консоль (рукав) 4. Рукав, кроме того, может поворачиваться вокруг колонны. Сверлильная головка 5 со шпинделем 6 может быть передвинута в нужное положение по горизонтальным направляющим рукава. В сверлильной головке размещают коробку скоростей, а в крупных станках ещё и коробку подач. У некоторых типов станков сверлильная головка может поворачиваться вокруг горизонтальной оси, обеспечивая возможность обработки отверстий, оси которых располагаются под углом к горизонтальной поверхности. Сочетание всех указанных движений позволяет обрабатывать на радиально-сверлильных станках крупногабаритные корпусные заготовки.

Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ (рис. 4.27, в) снабжён салазками 2, которые имеют вертикальное перемещение по направляющим станины 1. Стол 3 перемещается по направляющим салазок. Сверлильная головка 5 со шпинделем 6 и инструментом в нём перемещаются по вертикальным направляющим коробчатой стойки 4. Система ЧПУ осуществляет быстрый подвод инструмента, назначает глубину сверления, изменяет частоты вращения и подачи инструмента, управляет перемещениями стола.

В координатно-расточном станке (рис. 4.27, г) на станине 1 располагаются стойка 2 и коробка скоростей 3. Расточная головка 4 и шпиндель 5 находятся в верхней части стойки. Шпиндель совместно с инструментом получает вращательное (главное) движение и вертикальные перемещения (движение подачи). Заготовка закрепляется на столе 6, перемещающемся по направляющим поперечных салазок 7. С помощью масштабных зеркальных валиков или оптических систем заготовке задаются перемещения с точностью до 0,001 мм.

Из расточных станков наибольшее распространение имеют **горизонтально-расточные станки** (рис. 4.27, *д*), предназначенные для обработки крупногабаритных заготовок в условиях единичного и серийного производств. По вертикальным направляющим передней стойки 11, закреплённой на станине 1, перемещается шпиндельная бабка 10 с планшайбой 9, радиальным суппортом 8 и шпинделем 7. Задняя стойка 6 с расположенным на ней опорным люнетом 5 может перемещаться по горизонтальным направляющим станины. Люнет, необходимый для поддержания свободного конца длинной расточной оправки, перемещается в вертикальном направлении синхронно со шпинделем. Стойка может быть перемещена и закреплена в нужном положении. Стол 4 станка может перемещаться по продольным направляющим станины. По направляющим стола совершают перпендикулярные движения салазки 3, на которых смонтирован поворотный стол 2. Главное вращательное движение со скоростями v_1 или v_2 совершает инструмент, закреплённый либо в шпинделе, либо на планшайбе. Движения подачи могут осуществлять инструмент и заготовка. В первом случае подача инструмента связана с осевым перемещением шпинделя S_o , радиальным перемещением радиального суппорта S_p , закреплённого на планшайбе, вертикальным перемещением шпиндельной бабки S_b . Во втором случае подача представляет собой продольное перемещение стола S_{np} , который может иметь поперечное перемещение салазок S_n . Современные горизонтально-расточные станки выпускают с ЧПУ.

Алмазно-расточные станки (рис. 4.27, *е*) применяют для растачивания отверстий в небольших по габаритам деталях. Высокая точность и низкая шероховатость поверхности на этих станках достигаются за счёт назначения специальных режимов резания и применения для обработки чёрных металлов твердосплавных, а для обработки цветных металлов алмазных инструментов.

Повышение производительности процессов сверления и растачивания в условиях серийного и массового производств

связано с применением **агрегатных станков-полуавтоматов** (рис. 4.27, ж). Агрегатные станки собираются из стандартных и нормализованных узлов (агрегатов) и деталей в зависимости от формы и размера заготовок, а также от характера обработки заготовок. На станине 1 устанавливаются стол 3 и агрегатные (силовые) головки 2. На столе могут монтироваться приспособления для зажима заготовок или устанавливаться крупногабаритные заготовки. Столы могут быть поворотными. Агрегатные головки устанавливаются на станке относительно оси заготовки под разными углами. Инструменты закрепляются в шпинделях силовых головок. Инструментальные шпиндели вращаются (главное движение) от приводного вала силовой головки, а движение подачи инструменты совершают совместно с корпусом силовой головки по направляющим станины.

Кроме операций, выполняемых на обычных сверлильных станках, на расточных станках можно производить растачивание отверстий, нарезание резьбы в отверстиях, подрезку торцов, фрезерования плоскостей, пазов, выступов и др. Схемы обработки заготовок на расточных станках представлены на рисунке 4.28:

- а) растачивание отверстий консольной оправкой. Такие отверстия являются, например, гнёздами под наружное кольцо подшипника, служащего опорой таким деталям, как валы, шпиндели, оси и др.;
- б) растачивание отверстий, глубина которых составляет $l > 5d$. Такая обработка требует применения двухопорной оправки, так как такой способ удовлетворяет требованиям обеспечения заданной точности прямолинейности и параллельности оси отверстия;
- в) растачивание с помощью радиального суппорта планшайбы неглубокого отверстия, имеющего достаточно большой диаметр;
- г) растачивание конического отверстия с помощью расточной головки, устанавливаемой в шпиндель коробки скоростей;

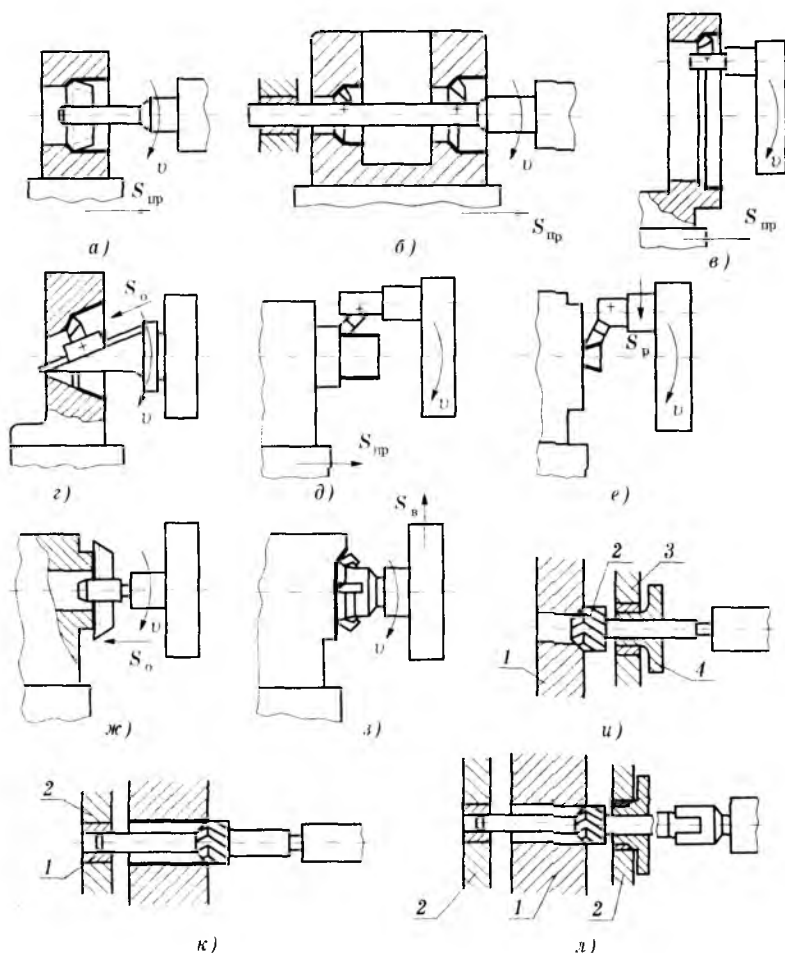


Рис. 4.28. Схемы обработки заготовок на расточных станках:

а — растачивание консольной оправкой; *б* — растачивание двухопорной оправкой; *в* — растачивание радиальным суппортом планшайбы; *г* — растачивание головкой в шпинделе; *д* — обтачивание радиальным суппортом; *е* — подрезание торца; *ж* — подрезание пластинчатым резцом; *з* — фрезерование вертикальной плоскости; *и* — зенкерование с передним кондуктором; *к* — зенкерование с задним кондуктором; *л* — зенкерование с передним и задним кондукторами

- д) обтачивание наружной цилиндрической поверхности с помощью радиального суппорта;
- е) подрезание торца с помощью резца, установленного в радиальный суппорт планшайбы;
- ж) подрезание торца пластинчатым резцом, установленным в шпиндель коробки скоростей;
- з) фрезерование торцевой фрезой вертикальной плоскости;
- и) зенкерование отверстия с использованием переднего кондуктора (здесь 1 — заготовка; 2 — зенкер; 3 — приспособление; 4 — кондукторная втулка);
- к) зенкерование отверстия с использованием заднего кондуктора (1 — кондукторная втулка; 2 — задняя стойка);
- л) зенкерование отверстия с использованием переднего и заднего кондукторов (1 — заготовка; 2 — задняя стойка и приспособление с кондукторными втулками).

4.4.3. Фрезерные работы

Фрезерование представляет собой высокопроизводительный способ обработки плоскостей, фасонных и винтовых поверхностей, нарезания зубчатых колёс, шлицов, резьбы, винтовых канавок при помощи вращающегося многолезвийного инструмента, называемого фрезой. Процесс резания при шлифовании имеет ряд специфических особенностей:

- толщина срезаемого слоя при фрезеровании является величиной переменной и изменяющейся при встречном фрезеровании от нуля (в момент врезания зуба в обрабатываемую поверхность) до максимального значения в момент выхода зуба из заготовки. Эта толщина может изменяться от максимального значения при попутном фрезеровании (в момент врезания зуба в обрабатываемую поверхность) до нуля в момент выхода зуба из заготовки;

- на длине дуги резания одновременно может находиться несколько лезвий;
- режущее лезвие работает с перерывами, так как в контакте с обрабатываемой заготовкой находится менее четверти оборота;
- корпус фрезы обладает, как правило, значительной массой, что благоприятно сказывается на отводе тепла от режущих кромок инструмента;
- периодическое врезание зубьев фрезы в обрабатываемый материал приводит к появлению ударных нагрузок и вынужденных колебаний, которые влияют на качество поверхности;
- характер врезания зубьев фрезы в обрабатываемую заготовку вызывает появление волнообразно чередующихся микронеровностей.

Принципиально различают цилиндрическое и торцовое фрезерование. При первом способе ось вращения фрезы параллельна обрабатываемой поверхности, при втором — перпендикулярна к поверхности обработки. Применяемые в данных методах фрезы имеют некоторые конструктивные различия: у торцовых фрез режущее лезвие напоминает режущие кромки проходного резца с дополнительной переходной кромкой между главной и вспомогательной. Такая конструкция обеспечивает более высокую прочность зуба торцовой фрезы по сравнению с цилиндрической. Торцовое фрезерование обеспечивает более высокие производительность обработки и показатели качества обработки поверхности, так как на дуге резания находится большее число зубьев по сравнению с цилиндрическим фрезерованием. Это повышает равномерность процесса резания.

Цилиндрическое и торцовое фрезерование плоскостей ведут двумя способами в зависимости от направления вращения фрезы и подачи заготовки: встречным фрезерованием и попутным фрезерованием.

Встречное фрезерование предпочтительнее при черновой обработке, так как зуб фрезы подходит к твёрдой ли-

тейной корке снизу и меньше изнашивается. Ухудшение качества поверхности из-за увеличения вибраций стола при стремлении фрезы оторвать заготовку от стола при черновой обработке не имеет решающего значения.

Попутное фрезерование целесообразно при чистовой обработке, так как зуб фрезы снимает стружку с постепенным уменьшением её толщины и способствует уменьшению шероховатости обрабатываемой поверхности. Данный способ обработки способствует прижатию заготовки фрезой и уменьшению вибраций.

На рисунке 4.29 показаны некоторые схемы обработки заготовок фрезерованием.

Для обработки плоских поверхностей могут использоваться как цилиндрическое фрезерование (рис. 4.29, *а*), так и торцовое (рис. 4.29, *б*). Вертикальные и наклонные поверхности удобно обрабатывать как торцовым фрезерованием (рис. 4.29, *в*, *д*), так и цилиндрическим с использованием концевых (рис. 4.29, *г*, *е*) и угловых фрез (рис. 4.29, *ж*). Полная обработка сложнопрофильных поверхностей осуществляется наборами фрез (рис. 4.29, *з*). Разнообразие форм насадных и концевых фрез позволяет получать пазы прямоугольного сечения (рис. 4.29, *и*), уступы (рис. 4.29, *к*), радиусные (рис. 4.29, *л*) и угловые (рис. 4.29, *м*) углубления, пазы направляющих станин типа «ласточкин хвост» (рис. 4.29, *н*), Т-образные пазы для головок специальных болтов, крепящих приспособления (рис. 4.29, *п*), закрытые (рис. 4.29, *р*) и открытые (рис. 4.29, *с*) шпоночные пазы под призматические шпонки, пазы (рис. 4.29, *т*) для сегментных шпонок, фасонные поверхности с помощью насадного (рис. 4.29, *у*) инструмента.

Особенности обработки заготовок на фрезерных станках. Характер обработки заготовок на различных типах фрезерных станков определяется их назначением и их конструктивными особенностями. Схемы конструкций некоторых типов фрезерных станков представлены на рисунке 4.30.

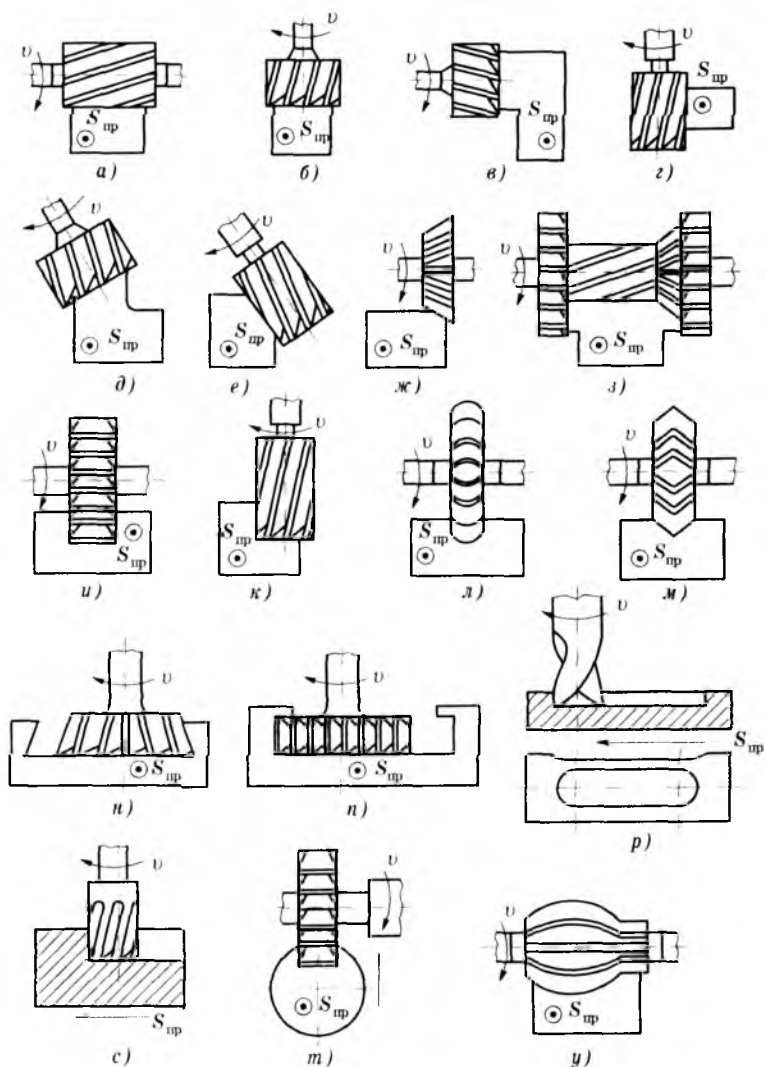


Рис. 4.29. Схемы обработки заготовок фрезерованием

Консольно-фрезерные станки. Это наиболее распространённый тип фрезерных станков, предназначенный для обработки небольших по размерам заготовок (наибольший

размер стола консольно-фрезерного станка составляет 400×600 мм). Столы этих станков совместно с обрабатываемой деталью могут перемещаться в трёх взаимно-перпендикулярных направлениях.

В зависимости от конструкции консольно-фрезерные станки подразделяются на горизонтальные, универсальные, широкоуниверсальные, вертикальные. Данные станки могут выпускаться с ЧПУ.

Горизонтальные (рис. 4.30, *а*) станки имеют горизонтальное расположение оси шпинделя 2 коробки скоростей, расположенной в станине 1. По вертикальным направляющим станины может перемещаться консоль 8, на которой устанавливаются поперечные салазки 7, а на них продольный стол 6 с верхней поворотной частью 5. На верхней части станины закреплён хобот 3 с направляющими типа «ласточкин хвост», по которым могут переустанавливаться подвески 4. В коническое отверстие шпинделя устанавливается оправка с насадной фрезой или концевая фреза. Свободный конец оправки для обеспечения жёсткости конструкции при обработке поддерживается подвеской.

Универсальные станки, имеют также горизонтальное расположение оси шпинделя, но отличаются от горизонтально-фрезерных станков тем, что стол может поворачиваться в горизонтальной плоскости под углом к оси шпинделя в пределах $\pm 45^\circ$.

Широкоуниверсальные фрезерные станки, снабжённые поворотным столом и поворотной шпиндельной головкой, отличаются тем, что у них головка может поворачиваться в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Кроме того, фрезерная головка может меняться на строгальное или долбежное устройство (головку). Станки подобной конструкции предназначаются главным образом для инструментальных цехов.

Вертикально-фрезерные станки имеют ось шпинделя, расположенную вертикально (рис. 4.30, *б, в*). Консоль вертикально-фрезерного станка имеет такое же устройство, как

и горизонтально-фрезерный станок. По вертикальным направляющим станины 1 может перемещаться консоль 2. На консоли смонтированы поперечные салазки 3 и продольный стол 5 с поворотной планшайбой 7. На планшайбу устанавливается обрабатываемая заготовка. Шаговые электродвигатели и гидроусилители передаваемых моментов 11, 4 и 6 вертикально-фрезерного станка с ЧПУ обеспечивают координатные перемещения поперечных салазок, продольного стола и окружной поворот планшайбы. Таким же образом привод 10 обеспечивает вертикальное перемещение (вертикальную подачу) шпинделя 8 фрезерной головки 9.

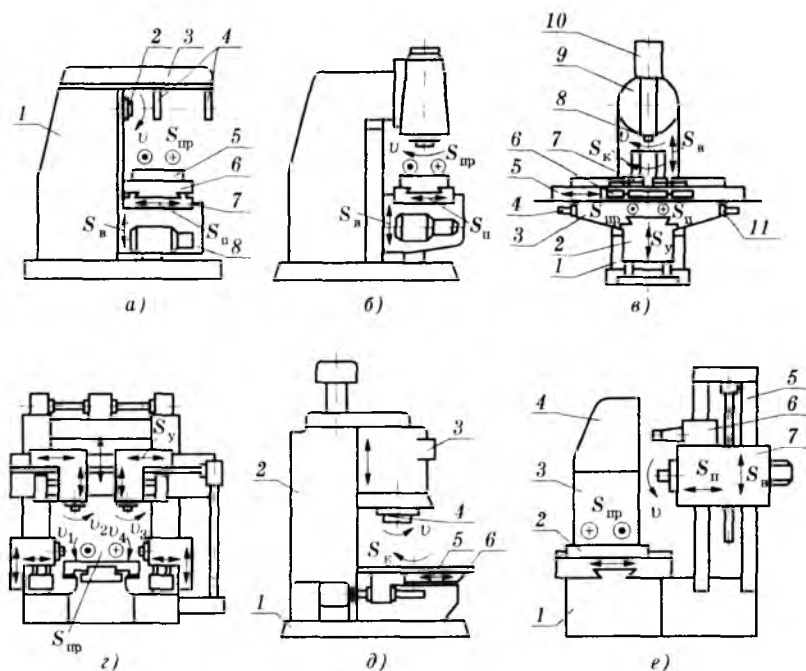


Рис. 4.30. Схемы конструкций фрезерных станков:
 а — горизонтально-фрезерного консольного;
 б — вертикально-фрезерного консольного;
 в — вертикально-фрезерного консольного с ЧПУ;
 г — продольно-фрезерного; д — карусельно-фрезерного;
 е — копировально-фрезерного

Вертикальные бесконсольно-фрезерные станки. У станков этого типа в отличие от консольных станков стол перемещается на неподвижной станине в продольном и поперечном направлениях. Вертикальное перемещение имеет сама шпиндельная бабка. Станки предназначены для обработки сравнительно крупных деталей. Отечественное машиностроение выпускает станки только в вертикальном исполнении. Бесконсольно-фрезерные станки широко используются для скоростного фрезерования плоскостей на заготовках корпусных деталей с большими припусками на обработку. Они могут настраиваться на автоматический режим: рабочая подача — быстрый обратный ход — стоп. В некоторых конструкциях этого типа при обратном ходе стола фреза автоматически отводится от обработанной поверхности, чтобы не повредить зубья инструмента.

Продольно-фрезерные станки. У продольно-фрезерных станков стол имеет только продольное перемещение, вертикальное и поперечное перемещения осуществляются фрезерными головками или бабками. Станки этого типа могут быть одношпиндельными горизонтальными, двухшпиндельными горизонтальными, двухшпиндельными вертикальными, трёхшпиндельными и четырёхшпиндельными. Продольно-фрезерные станки предназначены для обработки единичных крупногабаритных заготовок или для одновременной обработки нескольких заготовок деталей значительных размеров и массы. На рисунке 4.30, *г* показана схема конструкции четырёхшпиндельного продольно-фрезерного станка.

Фрезерные станки непрерывного действия. На станках этого типа снятие обработанных деталей и закрепление заготовок производятся без остановки станка.

Различают несколько типов фрезерных станков непрерывного действия.

Фрезерные станки карусельного типа имеют круглый стол 6 с вертикальной осью вращения и вертикальный шпиндель 4 (рис. 4.30, *д*). Движение рабочей подачи на этих

станках осуществляется медленным вращением стола 6, на рабочей поверхности которого ближе к периферии закрепляются обрабатываемые заготовки. Установка и снятие деталей производятся без остановки станка.

При настройке станка салазки 5 стола (карусели) 2 можно перемещать вдоль направляющих станины 1 в направлении стойки 2 станка, а шпиндельную (фрезерную) бабку 3 — вверх и вниз по вертикальным направляющим стойки 2. Кроме того, шпиндель может выдвигаться из шпиндельной бабки.

Отечественные карусельно-фрезерные станки выпускают-ся со столом диаметром 750...2000 мм.

Станки могут иметь одну или несколько фрезерных головок, причём каждая из них может быть устроена с одним или несколькими рабочими шпинделями. Карусельно-фрезерные станки подобно токарно-карусельным изготавливаются одностоечными и двухстоечными.

Высокая производительность станков обусловила их широкое применение в условиях крупносерийного и массового производства. Конструкция станка позволяет использовать на станке несколько различных приспособлений, используемых в серийном производстве для одновременной обработки нескольких разных заготовок или различных поверхностей одной заготовки.

Барабанно-фрезерные станки имеют барабаны (диаметром до 2000 мм) с горизонтальной осью вращения, на гранях которых закрепляются заготовки. Шпиндельные узлы закрепляются на вертикальных стойках. В этих станках барабан, имеющий шесть или восемь рабочих граней, получает медленное вращение $(0,04...0,08) \text{ мин}^{-1}$, которое является на этих станках круговой рабочей подачей. Вращением барабана заготовки перемещаются под вращающиеся фрезы, закреплённые в шпиндельных головках, и обрабатываются. Медленное вращение барабана позволяет устанавливать и снимать заготовки без остановки станка.

Барабанно-фрезерные станки могут быть одношпиндельными и многошпиндельными, иметь одну или несколько фрезерных головок.

Копировально-фрезерные станки. Копировально-фрезерные станки (рис. 4.30, е) предназначены для обработки фасонных поверхностей по шаблону (копиру). Наибольшее распространение они нашли при производстве штампов. Современные копировально-фрезерные станки имеют электрическую, гидравлическую или комбинированную следящую систему.

Механические следящие системы используются в небольших копировально-фрезерных станках для гравировальных работ или для фрезерования по копирам сложных поверхностей мелких деталей, точность обработки которых ограничивается пределами отклонений размеров в интервале 0,1...0,2 мм.

Обработка объемных поверхностей производится следующими друг за другом горизонтальными или вертикальными проходами инструмента (строчками). Во время работы станка копировальный щуп 6 (палец) прижимается к копиру (с усилием 1,5...2,0 Н). При изменении величины этого усилия в копировально-фрезерной головке возникают электрические сигналы, управляющие движением рабочих узлов станка и, следовательно, копировальной фрезы. Станок имеет станину 1, по направляющим которой перемещается стол 2. На столе устанавливаются друг на друге стойка 3 для закрепления заготовки и стойка 4 для закрепления шаблона. У стола располагается неподвижная стойка 5, по направляющим которой может перемещаться поперечина. На горизонтальных направляющих располагается передвижная шпиндельная бабка 7 со щупом 6.

При обработке следующими друг за другом горизонтальными строчками перемещения фрезы столу 2 сообщается непрерывная подача. После прохождения одной строчки шпиндельная бабка 7, несущая фрезу, и копировальный щуп 6, автоматически переместятся в вертикальном направ-

лении на ширину строчки. По окончании вертикального перемещения бабки на величину строчки стол перемещается в обратном направлении и происходит обработка второй строчки и т.д. Процесс обработки детали строчками автоматически продолжается до тех пор, пока щуп не обойдёт всю поверхность копира, а фреза не воспроизведёт его форму на поверхности заготовки.

При обработке вертикальными строчками перемещения инструмента непрерывная подача (вертикальная) сообщается шпиндельной бабке. После прохождения каждой вертикальной строчки перемещение на ширину строчки осуществляется столом.

Необходимость увеличения производительности обработки и уровня автоматизации мелкосерийного производства привело к созданию станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Особое место среди этих станков занимают многоцелевые, конструктивные особенности которых наиболее полно используют преимущества новых систем управления. К таким особенностям относятся магазин инструментов, автооператор смены инструментов, механизмы фиксации узлов при их позиционировании, многопозиционный стол для смены заготовок и приводы с широкими диапазонами регулирования частот вращения и подач.

В зависимости от объёма магазин может изготавливаться в виде револьверной головки (до 12 инструментов), дискового или барабанного накопителя (до 30...40 инструментов), цепного конвейера (до 100 инструментов) и может устанавливаться на шпиндельной бабке, колонне, на столе или за пределами станка.

Смена инструментов осуществляется автооператором. Наиболее характерными для многоцелевых станков являются механизмы автоматической смены инструментов, конструктивно которые можно разделить на три группы:

- 1) с заменой шпиндельного устройства;
- 2) с заменой инструментов в одном шпинделе;
- 3) комбинированные.

Автоматическая загрузка заготовок выполняется с помощью многопозиционных столов.

Компоновка конструкции многоцелевых станков бывает вертикальной и горизонтальной. Станки вертикальной компоновки используются для односторонней обработки заготовок крупных деталей и выполняются по типу фрезерных или координатно-расточных станков с вертикально перемещающейся шпиндельной бабкой. Станки с горизонтальной компоновкой предназначены для двух- или четырёхсторонней обработки заготовок и изготавливаются по типу горизонтально-фрезерных или горизонтально-расточных станков, оснащаются крестовым столом, вертикально перемещаемой шпиндельной бабкой, а в отдельных случаях — поперечно или продольно перемещаемой стойкой.

На многоцелевых станках выполняют предварительную и окончательную сверлильно-фрезерно-расточную обработку сложнопрофильных заготовок без их перебазирования во время инструментальной обработки.

4.4.4. Шлифовальные работы

Шлифование представляет собой процесс обработки заготовок при помощи шлифовального инструмента. Шлифование может быть предварительной обработкой перед последующими чистовыми и отделочными операциями, которые выполняются также с применением шлифовального инструмента. Чаще всего шлифование является чистовой или отделочной операцией после точения, обеспечивающей высокую точность размеров и малые показатели шероховатости. Шлифование применяют для обработки заготовок как из мягких, так и из твёрдых материалов.

В зависимости от характера обрабатываемых поверхностей шлифование подразделяется на следующие виды:

- а) наружное круглое шлифование в центрах;
- б) внутреннее шлифование (отверстий);
- в) бесцентровое наружное и внутреннее шлифование;

- г) плоское шлифование (плоскостей);
- д) специальные виды шлифования — шлифование поверхностей особых форм (зубьев шестерён, резьбы, шлицевых поверхностей, сфер и др.).

Многие виды шлифования имеют несколько разновидностей

Круглое шлифование в центрах (рис. 4.31) применяется для обработки наружных цилиндрических, конических и фасонных поверхностей. Существует три разновидности шлифования в центрах: методом продольной подачи, глубинное шлифование и шлифование методом врезания или методом поперечной подачи. Движением резания для них является вращение абразивного круга. Количество и направления подач для каждого из них различны.

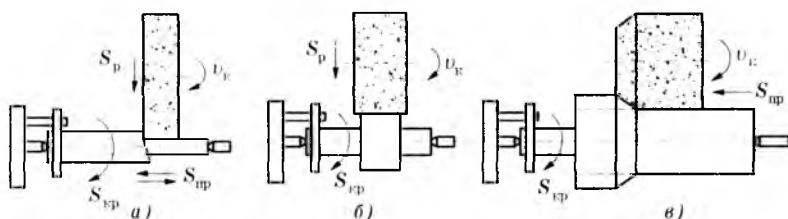


Рис. 4.31. Схемы наружного круглого шлифования в центрах:

- a* — методом продольной подачи;
- б* — методом поперечного врезания;
- в* — методом глубинного шлифования

При круглом шлифовании с продольной подачей (рис. 4.31, *a*) обрабатываемой детали сообщается вращательное движение (круговая подача $S_{кр}$), столу совместно с деталью — прямолинейное возвратно-поступательное движение вдоль оси детали (продольная подача $S_{пр}$), а бабке с шлифовальным кругом — периодическая радиальная подача S_p на каждый двойной ход. Этот способ шлифования обеспечивает максимальную точность обработки.

При круглом шлифовании врезанием (рис. 4.31, *б*) изделию сообщается круговая, а бабке — радиальная подача.

Ширина круга должна быть больше длины шлифуемого участка. Преимуществами этого способа являются высокая производительность и возможность шлифовать фасонные поверхности вращения. В последнем случае шлифовальному кругу придаётся соответствующая форма. Недостатки данного способа — пониженная точность и необходимость частой правки круга.

При шлифовании кругом, установленным на снятие постоянной толщины слоя (глубинном способе шлифования) (рис. 4.31, в), изделию сообщаются круговая и продольная подачи. Весь припуск ($0,1 \dots 0,3$ мм на сторону) снимается за один проход продольной подачей. Шлифовальный круг заправляется с образованием небольшого заборного конуса на длине $6 \dots 12$ мм.

Высокая производительность этого способа шлифования достигается уменьшением числа проходов. Глубинное шлифование применяется при обработке валов и других деталей, не требующих особо высокой точности изготовления.

Внутреннее круглое шлифование имеет две разновидности: простое (рис. 4.32, а) и планетарное (рис. 4.32, б). Простое внутреннее шлифование применяется при обработке сравнительно небольших заготовок, а планетарное шлифование — при обработке тяжёлых и громоздких заготовок, вращение которых затруднительно.

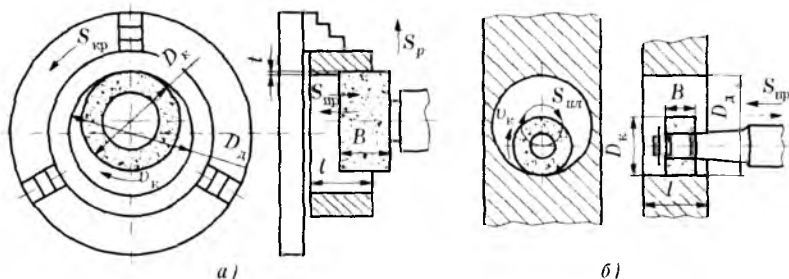


Рис. 4.32. Схемы внутреннего круглого шлифования:
а — простое; б — планетарное

При бесцентровом наружном шлифовании на проход (рис. 4.33) заготовка 1 располагается между шлифующим кругом 3 и ведущим кругом 4, а снизу поддерживается упором (ножом) 2. Для обеспечения продольного перемещения заготовки $S_{пр}$ ось ведущего круга установлена под углом ν ($\nu = 1...5^\circ$) к оси шлифующего круга. Бесцентровое наружное шлифование может производиться и методом врезания при поперечном перемещении ведущего круга. Шлифующий круг имеет окружную скорость $v_k = 25...30$ м/с. Скорость ведущего круга $v_{вк}$ во много раз меньше. Гладкие валики шлифуются на круглошлифовальных станках глубинным способом. Для обеспечения лучшего контакта с деталью периферия ведущего круга изготавливается не цилиндрической, а вогнутой (соответствующей форме гиперboloида вращения).

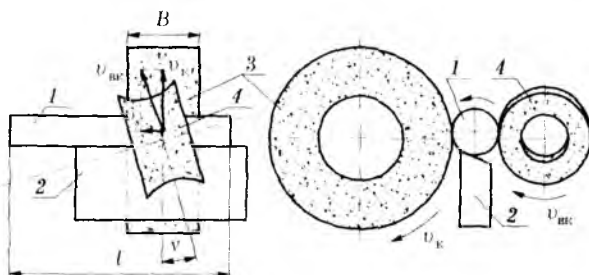


Рис. 4.33. Схемы бесцентрового наружного шлифования:

- 1 — заготовка; 2 — упор (нож);
3 — шлифующий круг;
4 — ведущий круг

При плоском шлифовании обрабатываются обычно плоские поверхности деталей как периферией, так и торцом шлифовального круга (рис. 4.35, а, б). Шлифование периферией круга используется для более точных работ. Плоское шлифование торцом круга применяют главным образом в массовом производстве при снятии больших припусков и шлифовании прерывистых поверхностей. Длинные детали шлифуют на станках с прямоугольным столом (рис. 4.35),

а короткие и круглые детали на станках с круглым столом (рис. 4.36), на котором устанавливаются заготовки в ряд по окружности стола.

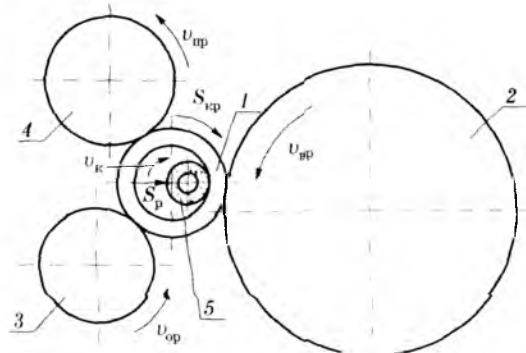


Рис. 4.34. Схемы бесцентрового внутреннего шлифования:
1 — заготовка; 2 — ведущий ролик; 3 — опорный ролик;
4 — прижимной ролик; 5 — шлифовальный ролик

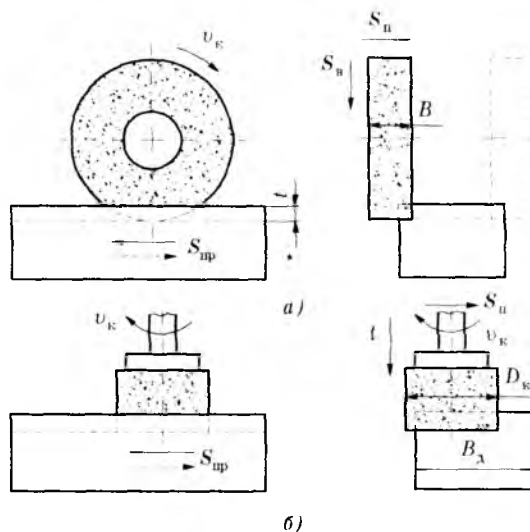


Рис. 4.35. Схемы плоского шлифования на станке с прямоугольным столом:
а — периферией круга; б — торцом круга

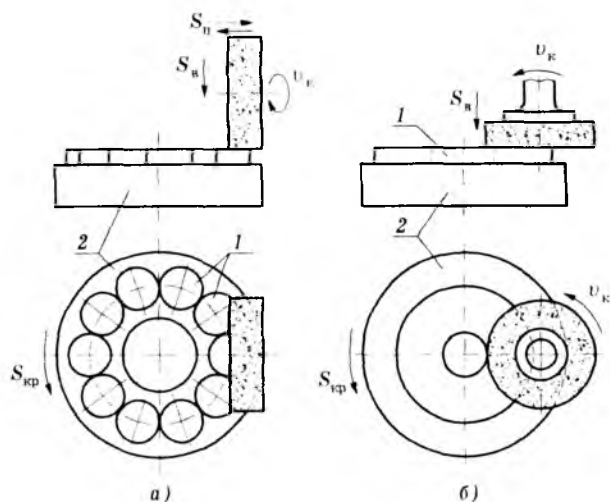


Рис. 4.36. Схемы плоского шлифования на станке с круглым столом:

а — периферией круга; *б* — торцом круга;
1 — заготовка; *2* — стол

При шлифовании периферией круга шлифовальный круг осуществляет главное вращательное движение v_k и вертикальную подачу S_n , а обрабатываемая деталь, укрепляемая на столе станка, возвратно-поступательное продольное движение подачи $S_{пр}$. Глубину резания t устанавливают вертикальной подачей круга. Кроме того, стол с деталью может вращаться в горизонтальной плоскости (по принципу карусельных станков), а круг радиально перемещаться относительно стола.

Абразивно-ленточное шлифование. Этот прогрессивный и перспективный процесс представляет собой обработку заготовок гибкой шлифовальной лентой (шкуркой), движущейся с большой скоростью (10...50 м/с). Ленточное шлифование обеспечивает шероховатость до $Ra = 0,16...0,63$ мкм и точность до 6...10 квалитета. Абразивно-ленточное шлифование применяется при чистовой обработке деталей сложной формы, обработке поковок, отливок, листового мате-

риала, проката, труб, прутков, зачистке сварных швов. Этот процесс применяется при обработке различных металлов, дерева, пластмасс и стекла.

Режущий инструмент — абразивная лента состоит из основы, слоя абразивных зёрен и клея-связки. Основой ленты являются прочные сорта бумаги и ткани — хлопчатобумажные и штапельные (бязь, полотно, саржа и др.). Абразивные ленты изготавливаются шириной от 6 до 2200 мм и длиной от 280 до 15 200 мм. В последние годы эксплуатационные свойства лент повышены за счёт использования новых видов синтетических клеев для закрепления зёрен и разработки надёжных способов соединения (стыковки) разъединённых лент.

Шлифование заготовки лентами и другими инструментами на гибкой основе позволяет осуществить взаимный контакт инструмента и заготовки по плоской и фасонной поверхностям. Рабочая поверхность ленты в несколько раз превышает рабочую поверхность шлифовального круга, что обеспечивает лучшее рассеяние тепла, уменьшает вероятность появления прижогов и более высокую производительность процесса шлифования. Применение шлифовальной ленты позволяет механизировать процессы чистовой обработки сложных поверхностей, обрабатывать труднодоступные места. Исключение балансировки инструмента, а также простота смены ленты сокращают время наладки станка. При ленточном шлифовании, в отличие от шлифования кругами, в поверхностном слое деталей образуются остаточные напряжения сжатия.

Важным фактором, оказывающим влияние на эффективность процесса шлифования, является натяжение ленты. Оптимальное значение силы натяжения $P = 10 \dots 60$ Н на 0,1 м ширины ленты. Процесс ленточного шлифования регулируют изменением натяжения ленты P , режимов шлифования ($S_{кр}$; $S_{п}$), выбором материала для контактных роликов, состава СОЖ и характеристик ленты (тип основы, клея, зернистость абразивного порошка и др.).

Применяют различные кинематические схемы абразивно-ленточного шлифования, сходные с некоторыми рассмотренным выше для шлифования кругами: плоское и фасонное шлифование наружных и внутренних поверхностей, круглое шлифование, бесцентровое ленточное шлифование и др. Кроме того, при обработке деталей сложной формы, например, турбинных лопаток, применяются станки с двумя одновременно работающими шлифовальными лентами.

Для обеспечения контакта между лентой и обрабатываемой деталью применяют опоры, прижимающие ленту к заготовке. Такими опорами являются подпружиненные контактные диски или плиты с рифлениями, а также фасонные ложементы. При снятии небольших припусков шлифование ведут на свободном участке натянутой ленты, а заготовку с небольшим усилием прижимают к абразивному слою движущейся ленты.

Отделочные методы шлифовальной обработки. Отделочные методы абразивной обработки делятся на две группы:

- 1) методы обработки инструментом со связанным абразивным порошком (брусками БХ) — хонингование, суперфиниш;
- 2) методы обработки свободным абразивным порошком — доводка, часто называемая притиркой, полирование, гидроабразивная, виброабразивная, магнито-абразивная и ультразвуковая обработка. Наиболее широкое распространение получила обработка абразивными брусками.

Хонингование — процесс окончательной абразивной обработки мелкозернистыми брусками, расположенными в хонинговальной головке. Головка совершает вращательное и одновременно возвратно-поступательное движения. Хонингование применяется для обработки внутренних и реже наружных поверхностей для получения малых значений показателей шероховатости $Ra = 0,025 \dots 0,1$ мкм и точности (1...4 качества). Припуск на хонингование назначают в пределах 0,05...0,08 мм.

Инструмент — хон оснащён подпружиненными абразивными брусками, закреплёнными на его внешней или внутренней поверхностях. Бруски перемещаются в радиальном направлении. По способу осуществления радиальной подачи различают две схемы хонингования: 1) обработка с постоянным давлением брусков на деталь; 2) обработка с определённой подачей брусков на каждый двойной ход головки. Количество брусков, расположенных по окружности головки, зависит от диаметра детали: от 1 до 12. Головки с одним бруском имеют две опоры на корпусе. Для хонингования отверстий с прерывистыми поверхностями (шпоночные, шлицевые канавки) применяют головки с брусками, расположенными под углом $15...30^\circ$ к её оси. Диапазон хонингуемых отверстий — от 3 до 1000 мм, а длина до нескольких метров. При хонинговании в качестве СОЖ используют обычно смесь керосина и масла. Для повышения производительности применяют устройства для автоматизации измерений в процессе обработки. Оптимальное соотношение окружной скорости v_1 к скорости v_2 ; $v_1/v_2 = 2...4$, $v_1 = 40...80$ м/мин. При таком соотношении v_1/v_2 риски при хонинговании пересекают риски, полученные при предварительной обработке.

При хонинговании, в отличие от шлифования, в работе участвует в 100...1000 раз больше абразивных зёрен, скорость резания в 50...120 раз меньше, давление шлифовального инструмента на обработанную поверхность в 6...10 раз ниже. Поэтому в зоне резания возникают значительно меньшие температуры, чем при шлифовании, и процесс формирования поверхностного слоя происходит в благоприятных условиях. Хонингование повышает точность обработки и уменьшает шероховатость поверхности. В настоящее время широко применяют алмазные брусочки. Стойкость брусочков из синтетических алмазов при обработке чугуновых деталей до 100...250 раз, а при хонинговании стальных деталей до 30...50 раз выше, чем абразивных брусочков, а расходы на инструмент снижаются в несколько раз. Высокие ре-

жающие свойства алмазных брусков облегчают автоматизацию процесса хонингования.

Суперфиниш — процесс сверхтонкой шлифовальной обработки наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей, а также плоскостей колеблющимися брусками, обеспечивает получение очень малых значений показателей шероховатости ($Ra = 0,008...0,05$) мкм. При суперфинише обычно удаляются только гребешки, оставшиеся от предыдущей обработки, поэтому для этого процесса оставляют очень малые припуски — около $0,005...0,01$ мм. Суперфиниш поверхностей практически не изменяет точность обработки, но уменьшает шероховатость поверхности.

На рисунке 4.38 показана схема обработки цилиндрической поверхности суперфинишной головкой, оснащённой обычно двумя шлифовальными мелкозернистыми брусками. Частота двойных колебаний брусков составляет $300...2500$ мин⁻¹; амплитуда $1...5$ мм; продольная подача $100...1000$ мм/мин; скорость заготовки $10...30$ м/мин, удельные нагрузки ($0,049...0,245$) МПа; температура резания не превышает 100 °С.

В настоящее время процесс суперфиниша применяют для снятия слоёв металла толщиной до $0,03$ мм. В этом случае удаётся несколько исправить погрешности формы деталей. Обработка ведётся в две последовательные операции: 1) с преобладанием резания — для удаления следов предшествующей обработки и исправления геометрической формы; 2) с преобладанием трения — для достижения малых значений микронеровностей поверхности. Изменением соотношения скоростей рабочих движений регулируют направление микронеровностей для создания наиболее благоприятных эксплуатационных условий работы деталей.

При суперфинишировании и хонинговании в поверхностном слое деталей из закалённых сталей образуются остаточные напряжения сжатия, наибольшая величина которых в зависимости от условий обработки изменяется от 300 до 900 МПа, а глубина их распространения $7...15$ мкм. Наи-

большие напряжения наблюдаются на глубине 1...2 мкм. Переход от резания-царапания к трению-полированию увеличивает остаточные напряжения сжатия в 2...3 раза.

Доводка. Доводка обеспечивает высокую точность (до 3...5 квалитета) и высокое качество поверхностного слоя. Применение субмикропорошков позволяет получать шероховатость поверхности деталей со значением показателя Ra , равном 0,008 мкм. Процесс доводки обычно состоит из предварительного, промежуточного и окончательного переходов. Доводочные смеси, наносимые на притир, применяют в виде паст и суспензий с концентрацией абразива от 3 до 30 %. Удельная нагрузка на деталь небольшая. При относительном движении притира и детали происходит снятие тонких слоев материала. При доводке снимают малые припуски — 0,01...0,05 мм. Процесс доводки включает механическое сглаживание выступающих микронеровностей, адсорбционное воздействие поверхностно-активных веществ, облегчающих процесс разрушения и возникновение химических явлений образования и срыва окисных плёнок на вершинах микронеровностей. На предварительных операциях применяют мягкие пористые притиры, а на окончательных операциях — твёрдые, обычно стеклянные притиры.

Наиболее распространена схема доводки с двумя, горизонтально расположенными дисками-притирами. Нижний диск жёстко связан со шпинделем станка, а верхний имеет самоустанавливающуюся подвеску. Между притирами помещается сепаратор с деталями. Сепаратор имеет возможность (эксцентриситет) перемещаться в радиальном направлении относительно дисков в пределах 5...15 мм. При вращении дисков детали не только вращаются, но и скользят относительно рабочих поверхностей притиров. Это скольжение и обеспечивает съём припуска в процессе доводки. Эксцентричное вращение сепаратора вызывает дополнительное движение деталей в радиальном направлении, а тангенциальное перемещение деталей в гнёздах сепаратора обеспечивается расположением этих гнёзд под углом к радиусу

сепаратора. Таким образом, в процессе доводки детали совершают сложное движение, при котором векторы скоростей скольжения и качения непрерывно изменяют направление и величину, чем достигается неповторяемость траектории рабочего движения деталей. Для получения самых малых значений показателей шероховатости поверхностей деталей из жаропрочных сталей при доводке применяется алмазная паста в смеси с керосином, oleиновой и стеариновой кислотами. Материал притиров — чугуны перлитной структуры и оптическое стекло. Предварительная доводка производится пастами зернистостью М28 и М5.

Полирование. Полирование применяется для финишной обработки поверхностей деталей для придания им декоративного блестящего вида и повышения коррозионной стойкости. Полирование ведётся в две-три операции с последовательным уменьшением зернистости абразива в полирующей пасте (от М40 до М5 и мельче): предварительное до $Ra = 0,08...0,32$ мкм, чистовое до $Ra = 0,02...0,04$ мкм и отделочное до $Ra = 0,01...0,02$ мкм.

Существуют три способа полирования: 1) механическое полирование, выполняемое при помощи абразивных зёрен, наносимых на полировальный круг; 2) полирование, осуществляемое за счёт пластического деформирования поверхностного слоя (например, алмазное выглаживание, обкатка роликами и др.); 3) электрохимическое полирование.

Наибольшее распространение имеет механическое полирование, которое осуществляется эластичными кругами, абразивными лентами, во вращающихся барабанах и виброконтeйнерах. Полировальный круг — это мягкий эластичный инструмент, на который с помощью клея наносится слой абразивных зёрен или полировальная паста. Они изготавливаются из фетра или войлока, тканей морской травы, прессованной бумаги и резины.

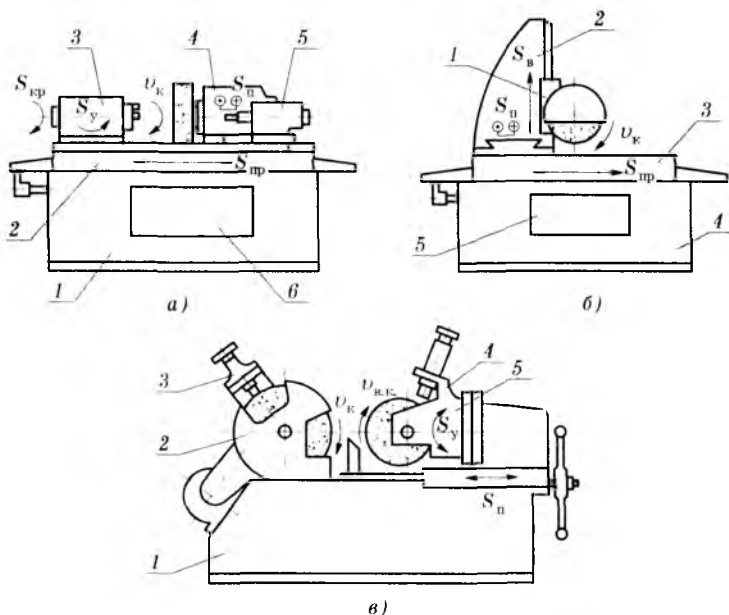
Гидроабразивная обработка. Этот вид обработки производится абразивной суспензией, выбрасываемой сжатым воздухом на обрабатываемую поверхность. При ударе абразивных

зёрен происходит съём металла и постепенное уменьшение микронеровностей поверхности, а также упрочнение поверхностного слоя, что значительно повышает циклическую прочность деталей машин. Равномерность съёма материала обеспечивают определённым расположением форсунок и относительными перемещениями детали и струи абразивной суспензии. Материал абразивных зёрен выбирают в зависимости от твёрдости обрабатываемого материала. Способ наиболее эффективен при чистовой обработке внутренних и наружных поверхностей крупногабаритных деталей фасонной формы.

Виброабразивная обработка. Её осуществляют в контейнерах, заполненных абразивными зёрнами и жидкостью, в которых размещаются заготовки. Относительное перемещение зёрен абразива и обрабатываемых заготовок осуществляется в результате сообщения контейнеру колебательных движений в нескольких направлениях. Виброабразивная обработка позволяет успешно механизировать трудоёмкие операции по очистке, снятию заусенцев и полированию заготовок сложной формы.

Магнитно-абразивная обработка. В данном способе обрабатываемую деталь помещают между полюсами электромагнита, а зазор заполняется абразивным порошком, обладающим магнитными свойствами. Магнитное поле, пронизывая зазор и деталь, прижимает зёрна к обрабатываемой поверхности. Если механическим путём или при помощи магнитного поля обеспечить перемещение зёрен относительно обрабатываемой детали, то последняя будет подвергаться чистовой обработке. Для повышения производительности и качества поверхности применяют обработку в присутствии смазочно-охлаждающих жидкостей.

Особенности обработки заготовок на шлифовальных станках. Характер обработки заготовок на различных типах шлифовальных станков определяется их назначением и их конструктивными особенностями. Схемы конструкций некоторых типов шлифовальных станков представлены на рисунке 4.37.



4.37. Схемы конструкций шлифовальных станков:
а — круглошлифовального; б — плоскошлифовального;
в — бесцентрово-шлифовального

Круглошлифовальные станки выпускаются универсальными, простыми и врезными. На станине 1 круглошлифовального станка (рис. 4.37, а) располагается стол 2, который с помощью гидропривода 6 совершает возвратно-поступательные перемещения относительно шлифовального круга. Передняя 3 и шлифовальная 4 бабки универсального станка могут поворачиваться вокруг вертикальной оси. В передней бабке располагается коробка скоростей, с помощью которой заготовке сообщается круговая подача. Шлифовальная бабка может перемещаться по своим направляющим для обеспечения поперечной подачи кругу, необходимой для установления глубины резания. На столе установлена задняя бабка 5, задний центр которой поддерживает оправку с закреплённой на ней заготовкой.

Простые круглошлифовальные станки имеют неповоротные бабки, а врезные характеризуются отсутствием устройств продольной подачи.

Плоскошлифовальный станок (рис. 4.37, б) состоит из станины 4, прямоугольного стола 3, продольная подача которого осуществляется гидроприводом 5. По вертикальным направляющим стойки 2 передвигается шлифовальная бабка 1. Кроме того, сама стойка имеет возможность перемещаться по направляющим станины. Этим обеспечивается поперечная подача шлифовального круга. Плоскошлифовальные станки могут иметь круглые столы с вертикальной осью вращения, на этих же станках ось шлифовального круга располагают вертикально. Заготовки на станках закрепляют с помощью магнитных плит или в зажимных приспособлениях.

Бесцентрово-шлифовальные станки (рис. 4.37, в) характеризуются высокой производительностью. На станине 1 установлены бабка 2 со шлифующим кругом и бабка 5 с ведущим кругом. Круги правятся с помощью приспособлений 3 и 4; подобные устройства имеются у всех шлифовальных станков. Для обеспечения продольной подачи заготовки ведущий круг поворачивается на некоторый угол (установочное движение).

Внутришлифовальные станки, по конструкции аналогичны круглошлифовальным, но не имеют задней бабки.

Применяются также заточные и специализированные шлифовальные станки. Шлифовальные станки выпускают в наибольшей степени механизированные и автоматизированные, они оснащаются системами программного управления.

4.4.5. Зубообработка

Зубчатые передачи являются распространёнными элементами современных машин и механизмов. Производство зубчатых колёс, входящих в зубчатые передачи, является достаточно сложным и трудоёмким процессом, требующим высокоточного оборудования, оптимально спроектирован-

ных технологических процессов, основанных на использовании положений теорий зубчатого зацепления, металлостроения, резания металлов и технологии машиностроения.

Заготовки зубчатых колёс получают литьём, штамповкой, накаткой в холодном и горячем состоянии с помощью накатного инструмента с последующей их обработкой на металлорежущих станках с использованием специального зубообрабатывающего инструмента. В процессе нарезания зубчатых колёс осуществляется последовательное удаление материала, заполняющего впадину между зубьями, и образование контура боковых сторон двух смежных зубьев. В этом процессе имеет большое значение обеспечение точности размеров, формы и расположения зубьев в колесе. В это понятие точности элементов зубчатого колеса в первую очередь входит степень приближения реального профиля зуба, шага зацепления и центра делительной окружности к теоретическим их значениям. Указанные значения определяют степень точности зубчатых зацеплений и должны контролироваться при изготовлении колёс.

Нарезание зубчатых колёс осуществляется методом копирования и методом обкатки (огибания), которые реализуются при помощи фрезерования, строгания, долбления, шевингования и шлифования.

Метод копирования (рис. 4.38) основан на применении фасонного инструмента, наружный профиль режущей части которого точно соответствует профилю впадины между двумя зубьями обрабатываемого зубчатого колеса. Реализация метода копирования осуществляется дисковыми и пальцевыми модульными фрезами, а также зубодолбёжными головками, которые при резании постепенно прорезают впадину между зубьями. После прорезания одной впадины, заготовку поворачивают с помощью делительной головки на часть оборота, равную $1/z$ (z — число зубьев зубчатого колеса), и цикл прорезания впадины повторяют. Метод копирования обеспечивает невысокую точность зубчатого зацепления, так как форма боковых поверхностей зубьев зависит не только

от модуля колеса, но и от числа зубьев, то есть от наружного диаметра зубчатого колеса. При одном и том же модуле, но при разном числе зубьев, то есть при разном наружном диаметре колёс, форма и расположение боковых сторон зубьев относительно друг друга будет изменяться. В связи с этим дисковые модульные фрезы выпускаются наборами, в которых каждая фреза определённого модуля рекомендуется для определённого числа зубьев. В зависимости от модуля в набор может входить восемь, пятнадцать или двадцать шесть номеров модульных дисковых фрез. Пальцевые модульные фрезы применяются в тяжёлом машиностроении для фрезерования профилей зубьев косозубых и прямозубых колёс крупного модуля. Эти же фрезы применяются также для изготовления шевронных зубчатых колёс, в которых половинки одного и того же зуба располагаются зеркально под углом друг к другу. Одно шевронное колесо можно уподобить спаренным двум косозубым шестерням.

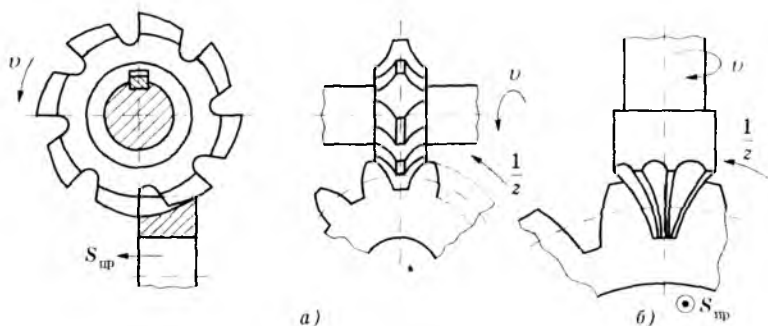


Рис. 4.38. Схемы фрезерования зубьев зубчатых колёс методом копирования:

а — дисковой модульной фрезой; б — пальцевой модульной фрезой;

$S_{пр}$ — продольная подача; z — число зубьев;

$1/z$ — часть оборота зубчатого колеса

Метод обкатки основан на уподоблении заготовки зубчатого колеса и режущего инструмента зацеплению зубчатой пары. Как и шестерня в работающей зубчатой паре заготов-

ка вращается. Вместе с заготовкой поворачивается режущий инструмент как часть сопряжённого с ней колеса. Но в отличие от зубчатой пары режущий инструмент совершает возвратно-поступательные движения резания вдоль оси поворота. Режущее лезвие последовательно занимает ряд положений касательной к боковой поверхности зуба на заготовке, которая формируется как огибающая совокупности этих положений от вершины до ножки зуба (рис. 4.39). Метод обкатки обеспечивает более высокую производительность и точность обработки по сравнению с методом копирования. Нарезание зубьев методом обкатки производится на зубофрезерных, зубодолбёжных и зубострогальных станках, общий вид которых представлен на рисунке 4.40.

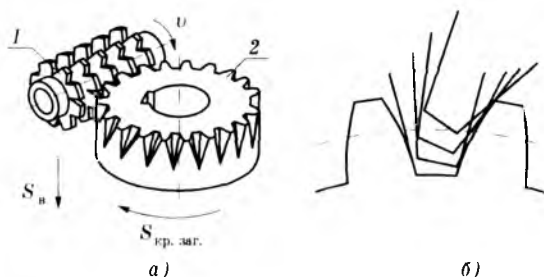


Рис. 4.39. Схемы фрезерования зубьев зубчатых колёс методом обкатки (огибания):

a — начальная стадия зубофрезерования:

1 — червячная модульная фреза; *2* — заготовка;

б — последовательность положений лезвия фрезы относительно боковой поверхности зуба

Наиболее распространены зубофрезерные станки (рис. 4.40, *a*) рамной конструкции. Основание *1*, стойки *2* и *б* и поперечина *4* образуют жёсткую конструкцию станка. Фреза устанавливается на суппорте *3*, перемещающемся по вертикальным направляющим стойки *2*. Заготовку устанавливаются на оправке, верхний конец которой поддерживается подвижным кронштейном *5*, а нижний конец оправки закрепляется в приспособлении стола *7*. Стол получает горизонтальное переме-

щение для установки заготовки относительно фрезы с помощью салазок 8, которые перемещаются по горизонтальным направляющим основания 1. Для обеспечения требуемых скоростей вращения и поступательного перемещения фрезы и заготовки в процессе нарезания зубьев станок имеет четыре коробки (гитары) сменных зубчатых передач. С помощью гитары скоростей 9 — для получения заданной частоты вращения шпинделя. С помощью гитары 10 устанавливают вертикальную подачу фрезы или горизонтальную подачу заготовки. Гитара 11 служит для сообщения заготовке окружной скорости, обеспечивающей автоматическое деление на необходимое число зубьев. Гитара дифференциала, находящаяся в одной коробке с гитарой подач, сообщает заготовке дополнительное вращательное движение при нарезании шестерён с косым зубом. Дополнительное вращение заготовки позволяет получить левый или правый наклон зубьев колеса.

Операция зубофрезерования достаточно трудоёмка, поэтому все шире применяют станки, работающие в полуавтоматическом или автоматическом режимах.

На зубодолбёжных станках (рис. 4.40, б) имеется основание 1, а на нём верхняя станина 2. Долбяк закрепляется в шпинделе 6 и совершает необходимое число двойных ходов в минуту, которое задаётся гитарой 8. При движении долбяка вниз совершается рабочий ход, а вверх — холостой ход. Перемещение долбяка вверх сопровождается отводом стола 7 с заготовкой из зоны резания (движение Δ), чтобы исключить контакт инструмента с заготовкой и тем самым уменьшить его износ за счёт трения. Инструмент совершает вращательное и возвратно-поступательное движения. Кроме того, с помощью механизма подач 5 он может совершать поперечное перемещение, чтобы обеспечить врезание в заготовку. При этом суппорт 4 постепенно перемещается по направляющим верхней станины 2 до тех пор, пока долбяк не обеспечит удаление металла между зубьями на всю длину (высоту) зуба. Согласованное вращение долбяка и заготовки обеспечивается гитарой обкатки 3.

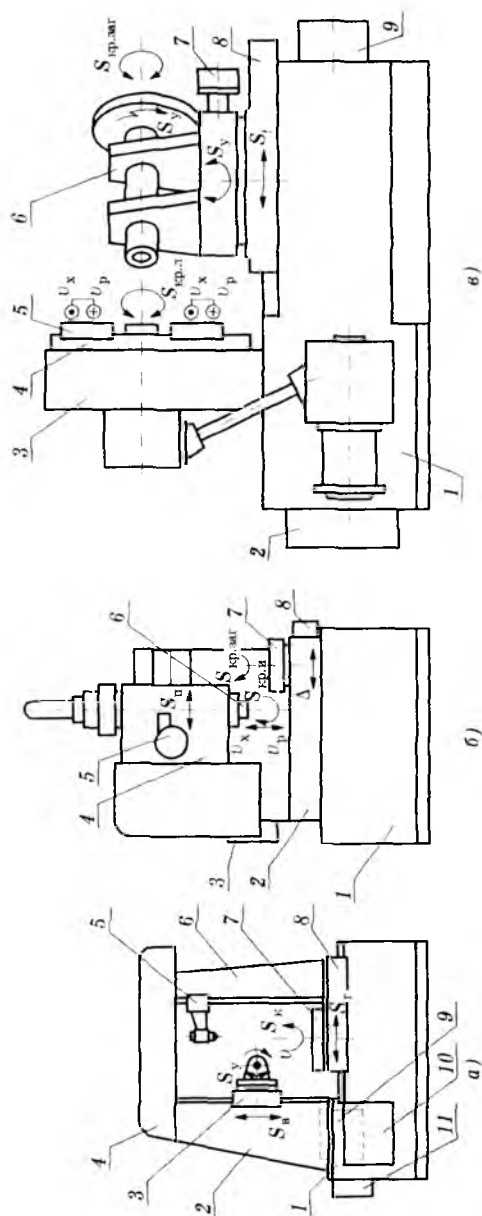


Рис. 4.40. Схемы конструкций зубопрофилирующих станков:

- а — зубофрезерного станка: 1 — основание; 2 — стойка передняя; 3 — суппорт; 4 — поперечина; 5 — кронштейн подвижный; 6 — стойка задняя; 7 — стол; 8 — салазки; 9 — гитара частот вращения шпинделя; 10 — гитара вертикальных и горизонтальных подач; 11 — гитара деления; б — зубодолбежного станка: 1 — основание; 2 — верхняя станина; 3 — гитара обкатки; 4 — суппорт; 5 — механизм подачи; 6 — шпиндель; 7 — стол; 8 — гитара скоростей; в — зубострогального станка: 1 — станина; 2 — гитара скоростей; 3 — стойка; 4 — люлька; 5 — сунпорты резцовые; 6 — делительная бабка; 7 — гитара деления; 8 — салазки; 9 — барабан механизма подвода и отвода заготовки

Зубострогальные станки (рис. 4.40, *в*) применяют для изготовления конических зубчатых колёс методом обкатки. В основу этого метода положено зацепление двух конических колёс, одно из которых плоское (рис. 4.41, *а*). Заготовка конического колеса уподобляется одному коническому колесу, а плоскому колесу, которое называют производящим плоским коническим колесом, уподобляется механизм станка, состоящий из люльки с двумя резцовыми суппортами.

a — схема зацепления; *b* — схема нарезания зуба;
1 — производящее колесо; *2* — нарезаемое колесо;
3 — люлька; *4* — зубострогальный резец

Люлька 4 с двумя резцовыми суппортами 5, перемещающимися по её направляющим, устанавливается на планшайбе стойки 3. Резцы попеременно совершают возвратно-поступательные движения по направлению к вершине конусов конических колёс — плоского и заготовки. Число двойных ходов резцов в минуту устанавливают настройкой гитары скоростей 2. Люлька с планшайбой вращается при обкатке вокруг горизонтальной оси подобно вращению плоского конического колеса.

В шпинделе делительной бабки 6 на оправке закрепляют заготовку. Салазки 8 делительной бабки, перемещаясь по продольным направляющим станины, подводят заготовку к резцам и отводят её от них. Величина подвода и регулируется с помощью барабана механизма 9. Настройкой гитары деления 7 заготовке при отводе её от резцов сообщают поворот на один угловой шаг, т.е. на $1/z$ оборота. Делительная бабка 6 может поворачиваться вокруг вертикальной оси для установки оси шпинделя (заготовки) под углом φ (угол при вершине конуса нарезаемого колеса) к оси люльки.

В процессе зубострогания конических колёс с прямыми зубьями (рис. 4.41, б) главным движением является возвратно-поступательное движение резцов. Движение резцов по направлению к вершине конуса заготовки является рабочим движением v_p , а обратный ход резцов является холостым v_x . Оба движения, рабочее и холостое, составляют двойной ход резца. В процессе совершения возвратно-поступательных движений резцами образуется впадина между зубьями за счёт удаления металла. Режущие кромки резцов располагаются касательно к боковым поверхностям одного зуба, позволяющим обрабатывать зуб полностью с обеих сторон. При этом кромки резцов должны совмещаться с касательными к основной (делительной) окружности зубчатого зацепления.

Вращение заготовки (круговая подача заготовки $S_{кр-заг}$) и люльки с резцами (круговая подача люльки $S_{кр-л}$) являет-

ся движением обкатки и должно соответствовать передаточному отношению:

$$i = z_n/z,$$

где z_n — число зубьев производящего (воображаемого) колеса;
 z — число зубьев нарезаемого колеса.

Полный процесс нарезания всех зубьев колеса состоит из последовательной обработки зубьев друг за другом путём поворота (деления) заготовки на один окружной (угловой) шаг и возвращения люльки в исходное положение.

Зубоотделочные операции. Для повышения степени точности и снижения величины шероховатости поверхностей зубьев используются различные отделочные операции. Наибольшее распространение среди них получили шевингование и обкатка для незакаленных зубчатых колёс и шлифование и притирка для колёс, подвергнутых закалке.

Шевингование применяется для чистовой обработки цилиндрических колёс с прямыми и винтовыми зубьями, а также червячных колёс твёрдостью $HRC \leq 40$. Оно позволяет получить 6...7-ю степени точности зубчатых колёс и шероховатость поверхности в пределах $Ra = 0,16...0,63$ мкм. Режущими инструментами в процессе шевингования являются шеверы. Наибольшее распространение получили дисковые шеверы, которые представляют собой точно изготовленные зубчатые колёса с канавками на боковых сторонах зубьев. Канавки образуют режущие кромки. Шеверы (рис. 4.42) изготовляют из быстрорежущей стали и для получения высокой твёрдости подвергают термической обработке. Шевер с обрабатываемой заготовкой составляет передачу с перекрещивающимися осями валов. Угол между осями рекомендуется брать равным $10...20^\circ$. Так как точки на боковых поверхностях зубчатых колёс с перекрещивающимися осями валов имеют скольжение друг относительно друга, то аналогичное явление при зацеплении шевера с заготовкой приводит к срезанию с поверхности последней тонких стружек.

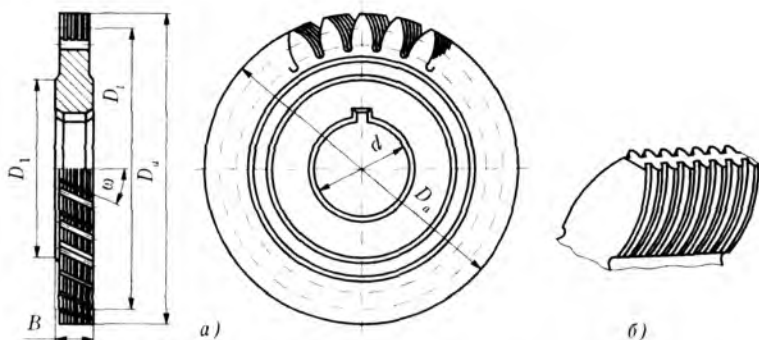


Рис. 4.42. Дисковый шевёр:
а — конструктивные элементы; **б** — зуб шевёра

Для того чтобы выдержать необходимую величину угла между осями заготовки и инструментом, шевёр выполняется обычно косозубым с соответствующим углом наклона зубьев. В частности, для нарезания косозубых колёс с углом наклона $\beta = 10...20^\circ$ можно применять прямозубые шевёры. В процессе работы обрабатываемое колесо имеет возвратно-поступательное движение (продольную подачу) и периодическое вертикальное перемещение. Припуск под шевингование устанавливается в пределах $0,1...0,25$ мм по толщине зуба.

Кроме рассмотренных дисковых шевёров, применяются также реечные и червячные шевёры. Червячные шевёры применяются для шевингования червячных колёс.

Обкатку зубьев колёс проводят по схеме, где обрабатываемое колесо размещается между тремя закалёнными колёсами, которые располагаются под углом 120° друг к другу, и обжимается ими. Одно из обжимающих колёс является ведущим, а обрабатываемое колесо и два обжимающих приводятся во вращение за счёт сил трения. Для обеспечения равномерности сглаживания микронеровностей и уплотнение поверхностных слоёв обеих сторон зубьев периодически производится реверсирование вращения колёс.

Зубошлифование (рис. 4.43) является отделочной операцией обработки зубчатых колёс, позволяющей получить 4...7 степени точности. Преимуществом процесса шлифования перед другими способами обработки является возможность обработки колёс любой твёрдости. Шлифование зубьев производится методом копирования и обкатки. При шлифовании по методу копирования (рис. 4.43, *а*) рабочий профиль шлифовального круга является копией профиля впадины между зубьями. При этом кругу сообщается вращательное движение вокруг своей оси и возвратно-поступательное вдоль зуба. Радиальная подача круга осуществляется периодически после каждого двойного хода. После шлифования каждой впадины производится поворот заготовки для того, чтобы обработать зубья с другой боковой стороны. При шлифовании по методу обкатки шлифовальный круг (или круги) копирует профиль зубчатой рейки (на рисунке показано пунктиром) и обкатывается с колесом, повторяя обкатывание зубчатой рейки с колесом. В качестве, режущих инструментов используются один круг с коническим профилем (рис. 4.43, *в*) или два тарельчатых (рис. 4.43, *б*). Во время шлифования круги получают вращательное *I* и возвратно-поступательное (вдоль зуба колеса) движения, а заготовка вращается вокруг своей оси (движение *II*) и одновременно прямолинейно перемещается (движение *III*). Поступательное движение заготовки согласовано с её вращением так, что заготовка как бы катится по воображаемой рейке. При обкаточном движении стола в одном направлении шлифуется одна боковая поверхность зуба, затем направление обкаточного движения меняется и шлифуется вторая боковая поверхность, в той же впадине. После обработки одной впадины колесо поворачивается на один угловой шаг (осуществляется делительное движение). Шлифование зубчатых колёс может осуществляться также абразивным инструментом, выполненным в виде червяка. Обработка шлифованием зубчатых колёс методом обкатывания обеспечивает показатели точности колёс значительно выше, чем методами копирова-

ния. Припуск на шлифование зубчатых колёс выбирается в пределах 0,2...0,3 мм на сторону и снимается в 4...5 проходов. В последние два прохода (чистовые) снимается слой толщиной 0,01...0,015 мм. Подача врезания S_p составляет 0,04...0,05 мм напроход. Время обработки одного зуба составляет от 1 до 3 минут. Наивысшую точность среди рассмотренных методов шлифования обеспечивает шлифование тарельчатыми кругами (4...5 степень точности), меньшая точность достигается при шлифовании кругами с двусторонним коническим профилем (5...6 степень точности) и самая низкая при шлифовании фасонными кругами, работающими по методу копирования (6...7 степень точности).

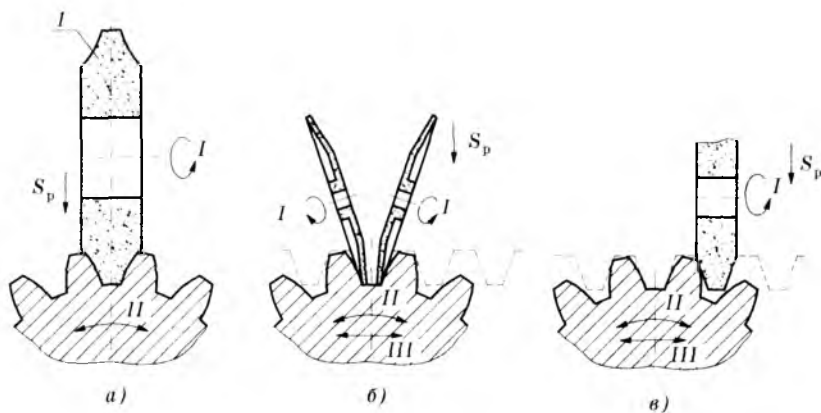


Рис. 4.43. Схемы зубошлифования:
а — профильным кругом; **б** — тарельчатыми кругами;
в — кругом с коническим профилем

Зубопритирка применяется для повышения качества обработки зубчатых колёс, получаемых зубошлифованием, а также для изготовления ответственных передач. Зубопритиркой получают поверхности высокого качества, доводя их до зеркального блеска, увеличивают плавность работы, уменьшают шум, повышают долговечность работы зубчатой пары. Процесс притирки применяют для закалённых зубчатых колёс.

Притиры выполняют в виде зубчатых колёс. В зацеплении в результате давления между зубьями притира и обрабатываемого колеса мелкозернистый абразив (в смеси с маслом) внедряется в более мягкую поверхность зубьев притира и удерживается на нём. Благодаря скольжению, возникающему между зубьями при вращении пары, зёрна абразива снимают с обрабатываемого колеса мельчайшую стружку.

По существу зубопритирка является процессом искусственного изнашивания материала колёс в соответствии с профилем зуба притира.

В производстве применяют две схемы притирки зубьев: зацеплением заготовки и притира на параллельных осях (используется один притир) и зацеплением заготовки и трёх притиров на скрещающихся осях. При использовании одного притира кроме вращательного движения притира и колеса, создаётся возвратно-поступательное движение притира ($S_{пр}$), что обеспечивает равномерную обработку зуба по всей ширине. Оси притира и колеса параллельны. Процесс протекает при быстром вращении притира, который является ведущим звеном в зацеплении с заготовкой зубчатого колеса, и при медленном перемещении (подачи) притира вдоль оси.

Наиболее распространены методы притирки тремя притирами. Оси двух притиров скрещаются с осью колеса, а ось третьего — параллельна оси колеса. Такая схема повышает производительность обработки. Обрабатываемое колесо получает реверсируемое вращение и приводит в движение все три притира за счёт сил трения. Одновременно оно получает возвратно-поступательное движение вдоль своей оси. Это движение является рабочей подачей, обеспечивающей удаление металла. Угол скрещивания осей двух притиров составляет $3...10^\circ$. Указанные движения обеспечивают равномерную обработку на всю ширину обеих сторон зуба.

Притирают конические колёса с круговыми зубьями. Прямозубые конические колёса притирают редко.

Плотное прилегание профилей зубьев обеспечивается с помощью гидромоторов, воздействующих на шпиндели притиров.

Материалом для зубчатых притиров служит мелкозернистый серый чугун с микроструктурой мелкопластинчатого графита в перлитно-ферритной основе. Притиры изготавливают возможно большего размера с целью их многократного использования по мере их изнашивания и восстановления. Число зубьев притира не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса.

Для притирки применяют жидкие абразивные смеси и пасты. Абразивные пасты обеспечивают большую производительность, чем жидкие смеси, подаваемые насосом. Пасты состоят из 40 % корунда или электрокорунда и 60 % вазелиновой массы. Абразивный материал наносят на поверхность зубьев тонким слоем постоянной толщины кистью.

Жидкую абразивную смесь готовят из одной части абразивного порошка и четырёх частей густого масла.

Зубчатые колёса обрабатывают данным методом на специальных зубопритирочных станках. Возможна притирка заготовок чугунами червячными притирами больших диаметров на зубофрезерных станках.

Зубопритирка обеспечивает более высокое качество обработки, чем зубошлифование, лишь в том случае, если зубчатое колесо было предварительно изготовлено с высокими показателями точности. Максимальная толщина слоя, удаляемого с помощью притирки, не должна превышать 0,05 мм.

Значительные погрешности зубчатых колёс исправить притиркой нельзя. Такие колёса следует предварительно шлифовать, а затем притирать.

В отдельных случаях вместо притирки применяют приработку зубьев. Она отличается от притирки тем, что колесо взаимодействует не с притиром, а с тем колесом, которое будет находиться с ним в зацеплении в собранной

машине. Приработку производят с помощью абразивного материала, ускоряющего процесс взаимного сглаживания поверхностей.

4.4.6. Обработка заготовок на строгальных, долбёжных и протяжных станках

Строгание как метод обработки заготовок характеризуется наличием двух движений: прямолинейно-поступательным перемещением резца или заготовки (главное движение) и прерывисто-поступательным движением подачи для последовательного удаления припуска, направленным перпендикулярно вектору главного движения.

Долбление является разновидностью строгания. Процесс долбления от строгания отличается тем, что основная нагрузка при долблении направлена вдоль державки резца, в то время как при строгании перпендикулярно державке. Поэтому процесс долбления предпочтительнее всего реализуется в станках вертикального типа, в которых резец располагается в резцедержателе вертикально. Резание металла производится при поступательном движении резца, а возвратное движение является холостым ходом.

Процесс резания при строгании и долблении протекает так же, как и при точении. Срезание металла и образование новой поверхности сопровождается упругим и пластическим деформированием металла, интенсивным трением и выделением тепла, образованием нароста и износом инструмента, повышением твёрдости и изменением структуры металла стружки и поверхностного слоя обработанной заготовки. Вместе с тем строгание и долбление имеют существенные особенности.

В начале каждого рабочего хода резец при входе в обрабатываемый материал испытывает удар о заготовку, что отрицательно сказывается на его прочности и стойкости. Наличие ударных нагрузок ограничивает возможность при-

менения износостойких, но хрупких твёрдых сплавов. Для оснащения строгальных и долбежных резцов применяют твёрдые сплавы с повышенной прочностью (ВК6, ВК8, ВК8В, Т15К6, Т5К10, Т5К12В и ТТ7К12).

Наличие ударных нагрузок в начале рабочих ходов и больших сил инерции при реверсировании движущихся частей строгальных станков ограничивает скорость резания при обработке заготовок. На современных строгальных станках скорость резания не превышает 70...80 м/мин. Непроизводительные потери времени на холостые ходы также снижают производительность строгания. Вместе с тем следует отметить универсальность и простоту обслуживания строгальных станков. Настройка станков на обработку не требует применения сложных устройств и приспособлений. В отдельных случаях, например при обработке длинных, но узких поверхностей, производительность строгальных станков превосходит данный показатель обработки на фрезерных станках.

По характеру обработки строгальные резцы делятся на черновые — для предварительной обработки и чистовые — для окончательной обработки. По виду выполняемых работ различают резцы проходные, подрезные, отрезные и фасонные.

Проходные резцы применяются для обработки горизонтальных и наружных наклонных поверхностей; подрезные — для обработки вертикальных и внутренних наклонных плоскостей; отрезные — для изготовления пазов, уступов и разрезов металла; фасонные — для изготовления фасонных поверхностей. Форма сечения державки у строгальных резцов преимущественно прямоугольная, причём для компенсации ударного приложения нагрузки величина сечения у них принимается в 1,25...1,5 раза больше, чем у токарных резцов (при работе с одинаковыми сечениями срезаемого слоя). При строгании применяют изогнутые резцы, так как у прямых резцов под действием сил резания может произойти отжим головки назад с углубле-

нием её в обработанную поверхность. Вершина изогнутого резца находится в одной плоскости с опорной поверхностью резца в резцедержателе. Поэтому отжим головки резца назад не приведёт к углублению в обработанную поверхность из-за касательного скольжения головки по обработанной поверхности.

Особенности обработки заготовок на строгальных и долбёжных станках. Характер обработки заготовок на различных типах строгальных и долбёжных станков определяется назначением станков и их конструктивными особенностями. Схемы конструкций некоторых типов строгальных и долбёжных станков представлены на рисунке 4.44.

Поперечно-строгальные станки (рис. 4.44, а) используются в единичном, мелкосерийном, серийном производствах, а также во вспомогательных цехах. На них обрабатывают заготовки, как правило, длиной не более 1000 мм. Рабочее движение резцу, закреплённому в откидном резцедержателе 5 вертикального суппорта 6, сообщает ползун 7, перемещающийся по направляющим станины 2, установленной на основании 1. Откидной резцедержатель устраняет трение резца о заготовку во время холостого хода. Заготовка закрепляется на столе 4, который может подниматься и опускаться с помощью траверсы 3, перемещающейся по вертикальным направляющим станины станка. Привод станка, обеспечивающий возвратно-поступательное движение ползуна может быть кулисным, реечным, гидравлическим, кривошипным или другого типа. Наиболее распространены станки с кулисным приводом, являющиеся простыми по конструкции и надёжными в эксплуатации. Кулисный привод позволяет сократить время холостого хода из-за меньшей величины угла поворота кривошипа, соответствующего обратному ходу кулисы, связанной с ползуном. На поперечно-строгальных станках обрабатывают горизонтальные, вертикальные и наклонные поверхности, уступы, пазы различного профиля и другие работы.

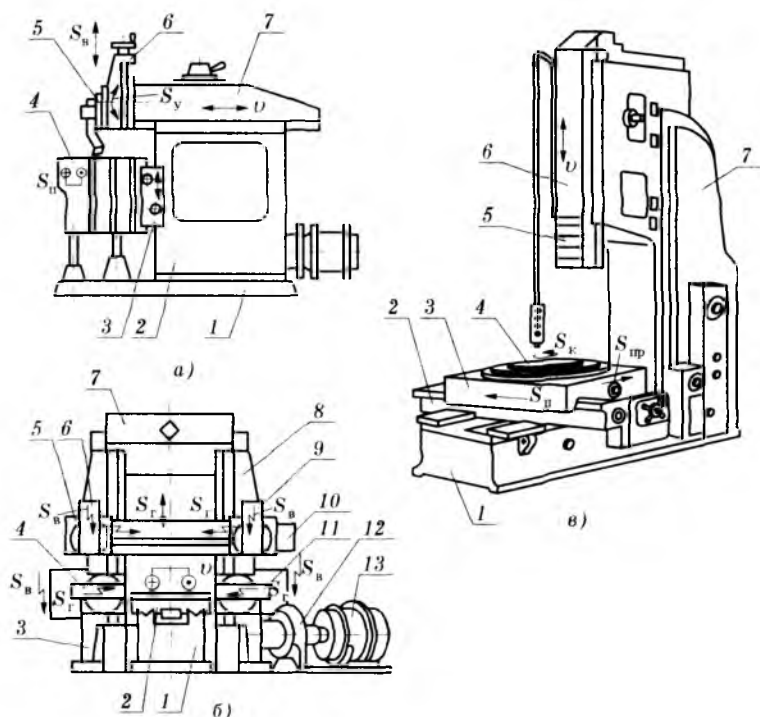


Рис. 4.44. Схемы конструкций строгальных и долбежных станков:

- а* — поперечно-строгального станка: 1 — основание;
 2 — станина; 3 — траверса; 4 — стол; 5 — резцедержатель;
 6 — вертикальный суппорт; 7 — ползун;
б — продольно-строгального станка: 1 — станина; 2 — стол;
 3 — левая стойка; 4 — боковой суппорт; 5 — траверса;
 6 — верхний суппорт; 7 — поперечина; 8 — правая стойка;
 9 — второй верхний суппорт; 10 — коробка подач;
 11 — второй боковой суппорт; 12 — коробка скоростей;
 13 — электродвигатель;
в — долбежного станка: 1 — станина; 2 — продольные салазки;
 3 — поперечные салазки; 4 — стол; 5 — резцедержатель;
 6 — ползун; 7 — стойка

Продольно-строгальные станки (рис. 4.44, б) применяют для обработки крупных тяжёлых заготовок. Наибольшая длина строгания может составлять 12 и более метров.

Ширина строгания может составлять до 4 и более метров. По конструкции продольно-строгальные станки выпускаются одно- и двухстоечными. Двухстоечные станки имеют более жёсткую конструкцию и используются для обработки крупных корпусных заготовок. Заготовка устанавливается на столе 2, который совершает возвратно-поступательные перемещения по направляющим станины 1 между правой 8 и левой 3 стойками, жёстко связанных со станиной и между собой поперечиной 7 для повышения жёсткости станка. Стол получает движение от электродвигателя 13 через коробку скоростей 12. По вертикальным направляющим стоек перемещается траверса с горизонтальными направляющими, по которым могут передвигаться два верхних суппорта 6 и 9. Суппорты через коробку подач 10 получают горизонтальное перемещение по траверсе (поперечную подачу). Боковые суппорты 4 и 11, установленные на вертикальных направляющих стоек с помощью индивидуальных коробок подач могут получать как вертикальное перемещение (подачу), так и горизонтальную подачу. Все суппорты имеют возможность поворачиваться на угол до $\pm 60^\circ$ для обеспечения возможности обрабатывать наклонные плоскости. Наличие четырёх суппортов позволяет одновременно обрабатывать несколько поверхностей заготовки.

К специальным строгальным станкам относятся кромко-строгальные станки, предназначенные для подготовки кромок листов и полос под сварку длинных конструкций (мостовые конструкции, цеховые перекрытия и др.) и шлицестрогальные станки.

Долбёжные станки (рис. 4.44, в) применяются для обработки плоских вертикальных поверхностей, наружных поверхностей многогранников, многогранных отверстий, наружных пазов, фасонных поверхностей, наружных и внутренних зубчатых поверхностей и др.

При долблении несквозных шпоночных и шлицевых поверхностей предусматривают канавки для выхода долбёжного резца. Поверхности, обрабатываемые долблением,

должны иметь небольшую длину, так как при обработке длинных заготовок вылет резца из резцедержателя увеличивается, что может привести к недопустимому изгибу резца или к его разрушению.

При долблении зубчатых колёс наружного и внутреннего зацепления применяют метод обкатывания с использованием модульных насадных и концевых долбяков. Жёсткость зубодолбёжного станка и использование высокоточного инструмента объясняет наиболее высокие показатели точности и малые показатели шероховатости поверхностей зубьев зубчатых колёс, по сравнению с другими методами обкатывания. Зубодолбление является практически единственным способом изготовления блоков шестерён с небольшим расстоянием между венцами и зубчатых колёс внутреннего зацепления.

Особенности обработки заготовок на протяжных станках Протягивание является высокопроизводительным методом обработки внутренних и наружных поверхностей, обеспечивающим высокую точность формы и размеров обрабатываемой поверхности. Обработку протягиванием широко применяют в крупносерийном и массовом производстве изделий. Высокая производительность протягивания объясняется одновременным участием в резании нескольких режущих зубьев, создающих большую общую длину режущих кромок.

Протягиванием обрабатывают сквозные круглые, многогранные, шлицевые и другие фасонные поверхности в отверстиях, которые предварительно получены каким-либо другим методом (литьём, штамповкой, сверлением и т.д.) и наружные поверхности. Точность протянутых поверхностей соответствует 6...9 качеству, а показатели шероховатости составляют $Ra = 0,63 \dots 2,50$ и меньше при тонком протягивании. Инструмент для протягивания называют протяжкой, материал которой при работе подвергается растяжению. При обработке отверстий применяют разновидность инструмента, которую называют прошивкой. Материал про-

шивки при обработке заготовок подвергается сжатию. Обычно прошивки имеют длину не более 15 диаметров для обеспечения устойчивости в работе и предотвращения изгиба. Протяжка для обработки отверстий представляет собой стержень и имеет следующие части (рис. 4.45, а):

- передний хвостовик l_1 , служащий для крепления протяжки в патроне станка и передачи тягового усилия;
- шейка l_2 , соединяющая хвостовик с переходным конусом, который предназначен для удобства установки протяжки в обрабатываемое отверстие перед протягиванием;
- передняя l_3 направляющая часть, центрирующая заготовку в начале протягивания;
- режущая часть протяжки l_4 снабжена режущими зубьями. Высота режущих зубьев, которые срезают большую часть припуска, последовательно увеличивается на толщину срезаемого слоя каждым зубом. Режущая часть предназначена для удаления срезанием припуска;
- калибрующая часть l_5 состоит из калибрующих зубьев, формы и размеры которых соответствуют форме и размерам окончательно обработанной поверхности. Калибрующие зубья предназначены для придания обрабатываемой поверхности необходимой точности и требуемой шероховатости;
- задняя направляющая часть l_6 , центрирующая заготовку в конце протягивания. Кроме того, задняя направляющая часть служит для поддержания протяжки от провисания в момент выхода протяжки из отверстия.

На станках с автоматическим циклом работы используются протяжки с задним хвостовиком, располагающимся после задней направляющей части. Хвостовик служит для захвата вспомогательным патроном при холостом ходе станка. Крупные тяжёлые протяжки снабжаются задним хвостовиком или цапфой для установки в люнет.

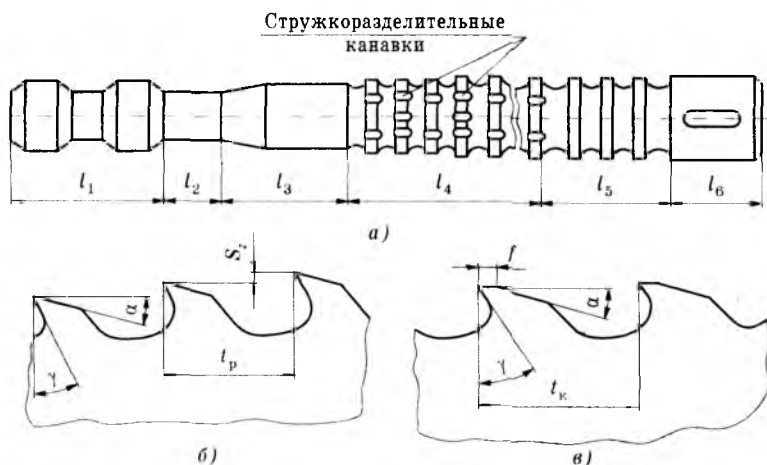


Рис. 4.45. Схема конструкции круглой протяжки:

***a* — основные части протяжки; *б* — геометрия режущих зубьев; *в* — геометрия калибрующих зубьев; *f* — фаска (ленточка) на задней поверхности калибрующего зуба**

Протяжки располагаются при работе на станке горизонтально или вертикально в зависимости от устройства протяжного станка, и перемещается поступательно вдоль оси со скоростью резания v (главное движение). Горизонтальные и вертикальные протяжные станки работают по прерывистой схеме, то есть после обработки заготовки станок останавливают для снятия детали и установки новой заготовки. В массовом производстве применяют специальные станки, работающие по схеме непрерывного протягивания, при котором благодаря наличию специальных конструкций инструмента и станка смена заготовок производится по мере их обработки без остановки станка. К специальным видам протягивания относятся обработка наружных и внутренних поверхностей тел вращения дисковыми протяжками, протягивание специальными протяжками зубчатых колёс и т.д.

Протяжку перед протягиванием устанавливают передней направляющей в отверстие заготовки. При рабочем движении каждый зуб срезает с заготовки слой толщиной S_2 .

Протяжки для наружных поверхностей (наружные) обычно бывают сборные из нескольких коротких частей (секций). Режущие кромки соседних зубьев также, как и режущие зубья протяжек для внутренних поверхностей, имеют превышение (подачу) высоты последующего зуба над предыдущим на величину подачи S_z и срезают припуск по всей ширине. Наружные протяжки, подобно прошивкам, работают на сжатие и не имеют хвостовиков. Применяют вращающиеся протяжки, подобные дисковым или цилиндрическим фрезам, но с увеличением высоты режущих кромок зубьев, следующих друг за другом, например, для протягивания впадины зуба конического колеса. Вращающиеся заготовки (тела вращения) обрабатывают протяжками, зубья которых работают как фасонные резцы, следующие друг за другом с тангенциальной подачей.

Схемы резания при протягивании (рис. 4.46). Схему резания при протягивании рассматривают как проекции всех срезов кромками на поперечное сечение протяжки (вид на режущие кромки с переднего торца протяжки). Различают *одинарную* (простую) и *групповую* (переменную) схемы резания. Одинарная схема образуется режущими кромками, каждая из которых имеет подъём S_z относительно предыдущей и срезает стружку по всему периметру обрабатываемой поверхности. Режущие кромки у протяжек для обработки вязких материалов разделяют узкими канавками (стружкоразделительными), шлифованными на задних поверхностях зубьев в направлении протягивания в шахматном порядке через зуб. Канавки имеют поверхность с малыми значениями заднего угла α . Разделённая на части узкая стружка свободнее размещается во впадинах зубьев. Срезание стружки с увеличенной толщиной в месте выступа, оставленного стружкоразделительной канавкой предыдущего зуба, требует приложения большей величины тягового усилия, увеличения размеров впадины зуба и шага и вследствие этого удлинения протяжки. Поэтому одинарную

схему применяют для малых значений припусков в заготовке и подач на один зуб S_z протяжки.

Одинарная схема резания бывает профильной и генераторной. Профильная схема применяется для простых профилей (круг, плоскость), генераторная — для сложных (многогранные, шлицевые, криволинейные и т.д.).

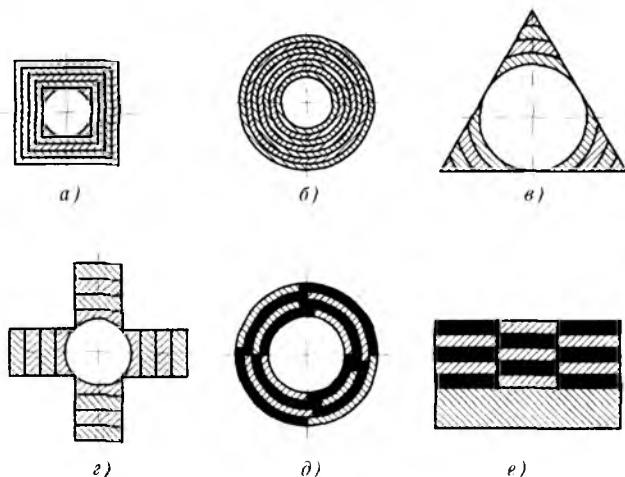


Рис. 4.46. Схемы резания при протягивании:
***а, б* — профильные схемы; *в, г* — генераторные схемы;**
***д, е* — групповые схемы**

Профильная схема (схема подобия) образована геометрическими фигурами, подобными профилю обработанной поверхности. Для круглого профиля — это концентрические окружности, квадратного — квадраты. При этом только последняя режущая кромка и калибрующие зубья окончательно формируют профиль обрабатываемой поверхности по всему периметру.

Преимущества профильной схемы состоят в возможности получения точных и гладких протянутых поверхностей из-за возможности придания режущим зубьям необходимых геометрических параметров (углов, разбиения припуска на части, шагов зубьев и др.).

Недостаток профильной схемы состоит в большой трудоёмкости изготовления и затачивания главных режущих кромок, имеющих сложный профиль (квадратных и др.).

Генераторная схема (последовательная) отличается от профильной тем, что профиль режущих кромок постепенно приближается к профилю окончательно обработанной поверхности независимо от её профиля (многогранного, шлицевого, зубчатого и др.) и к форме профиля калибрующих зубьев. Профиль отверстия генерируется на основе дуг концентрических окружностей по мере продвижения протяжки в отверстии.

При протягивании всех видов наружных фасонных профилей генераторная схема образуется параллельными прямыми линиями. Зубья с круглыми или прямолинейными главными режущими кромками менее трудоёмки при изготовлении и затачивании (для образования переднего γ и заднего α углов).

Преимущество этой схемы состоит в уменьшении трудоёмкости изготовления узких стружкоразделительных канавок на режущих кромках по сравнению с профильной схемой резания.

Групповая схема (переменного резания) образуется чередованием коротких главных режущих кромок и широких стружкоразделительных канавок, приблизительно равных или кратных длине режущих кромок и расположенных в шахматном порядке через зуб. При групповой схеме припуск удаляется послойно, но группами зубьев с одинаковыми размерами в пределах группы. В группе каждый зуб снимает только часть периметра достаточно толстого слоя припуска.

В зависимости от формы стружкоразделительных канавок и подачи на один зуб эту схему называют прогрессивной, трапецеидальной, шахматной, многогранной, и др. У протяжек для круглых отверстий режущие зубья разбиты на несколько групп (секций) по 2...4 зуба в каждой группе с чередующимся общим увеличением высоты s_z

каждой следующей группы после предыдущей. Например, у круглой протяжки с вырезами (лысками) на режущих кромках для стружкоразделения в каждой группе имеются по два зуба. Последние зубья в каждой группе без вырезов срезают с поверхности резания выступы, которые остаются после прохода зубьев с вырезами. Стружка образуется одинаковой толщины без выступов, что допускает назначение больших по величине подач на один зуб S_z . Толстые стружки распадаются на отдельные элементы, требуют меньших размеров впадин зубьев и уменьшают силу резания. Повышению стойкости протяжки способствуют достаточно большие значения угла α и радиуса вырезов. Недостаток этой схемы — большая трудоёмкость изготовления широких и глубоких стружкоразделительных каналов.

Комбинированные схемы представляют собой соединения в одной протяжке черновых зубьев, работающих по генераторной, и чистовых — по профильной схеме или черновых — по групповой и чистовых — по одинарной.

Особенность процесса резания при протягивании состоит в постоянном накоплении стружки во впадине каждого зуба с момента входа в заготовку и до выхода из неё. При протягивании деталей из вязких материалов, например из нержавеющей сталей, стружка получается в виде жёсткого и неплотного витка. Избыток стружки во впадине заклинивает протяжку в протягиваемом отверстии и приводит к её разрыву. При протягивании деталей из хрупких материалов, например из серого чугуна, получается сыпучая стружка надлома, которая требует меньших размеров впадин. При перемещении протяжки в отверстии число одновременно работающих зубьев z_p периодически изменяется от большего к меньшему и наоборот с разностью в один зуб. В моменты входа режущей кромки в контакт с заготовкой и выхода из неё изменения тягового усилия вызывают вибрации в станке, которые могут вызывать образование волнистости поверхности.

Калибрующие зубья в отличие от режущих имеют на задней поверхности фаску (ленточку) шириной f с углом $\alpha = 0$. Фаска способствует обеспечению точности обрабатываемой поверхности, сохранению размеров зубьев после переточек протяжки и продлению срока эксплуатации инструмента.

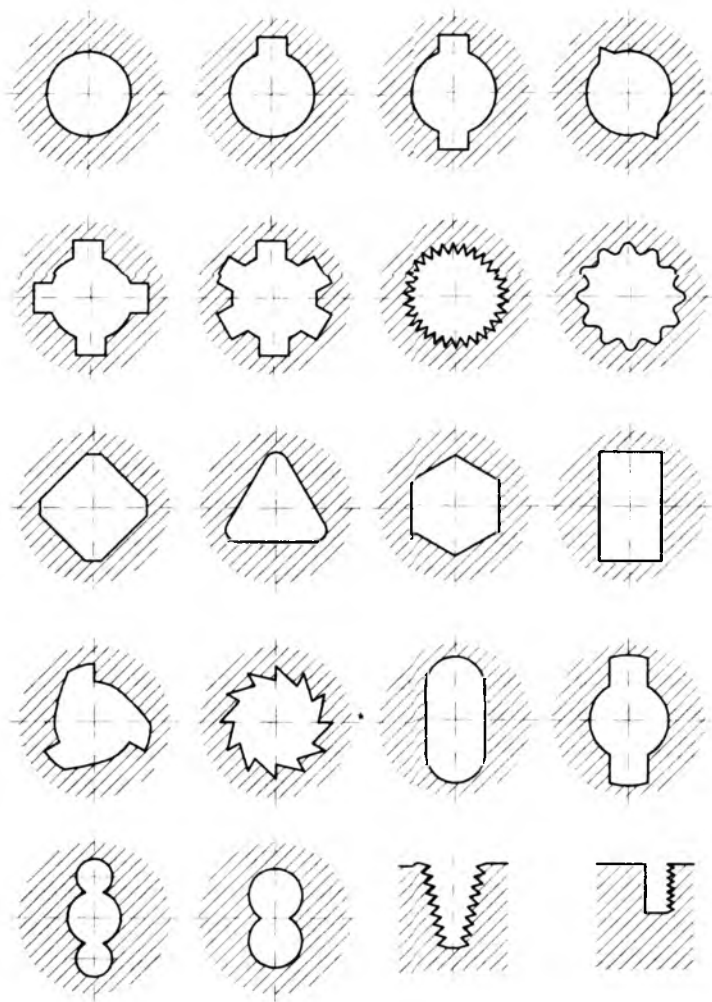


Рис. 4.47. Виды обработанных протягиванием внутренних и наружных поверхностей

Особенности обработки заготовок на протяжных станках. Характер обработки заготовок на различных типах протяжных станков определяется их назначением, конструктивными особенностями и применяемым инструментом. Основными характеристиками протяжных станков являются тяговое усилие и длина хода протяжки. Станки имеют чаще всего гидравлический привод.

На горизонтально-протяжных станках протяжку хвостовиком вставляют в предварительно обработанное отверстие в заготовке и закрепляют в патроне каретки. Каретка с патроном получает поступательное движение от штока поршня гидроцилиндра. Заготовка при протягивании упирается на опорную поверхность специального кронштейна. Поступательное движение протяжки продолжается до тех пор, пока она не выйдет из отверстия. После окончания протягивания заготовка падает в поддон, протяжка извлекается из патрона каретки, которая возвращается в исходное положение, и цикл обработки повторяется.

Станки для внутреннего протягивания производятся в горизонтальном и вертикальном исполнении, которые применяются в серийном производстве. Вертикальные станки для внутреннего протягивания, работающие в полуавтоматическом режиме, отличаются высокой производительностью и применяются преимущественно в массовом производстве. Станки для наружного протягивания обычно выпускаются в вертикальном исполнении. Размеры диаметров протягиваемых отверстий могут составлять от 5 до 250 мм.

Специальные протяжные станки непрерывного действия являются станками высокой производительности. Заготовки на них обрабатываются непрерывно. Их устанавливают в приспособлениях замкнутого цепного конвейера и сообщают им главное поступательное движение вместе с цепью. Жёсткие направляющие обеспечивают прохождение заготовок под протяжками и придание им точного размера обрабатываемой поверхности. Протяжные станки непрерывного действия производятся также со столом карусельного типа.

4.5. Наладка станков для обработки заготовок

4.5.1. Общие сведения

Наладка станков предполагает приведение их в состояние, обеспечивающее работу станка от начала до конца завершения технологической операции. Состояние готовности станка к выполнению основных операций достигается совместными вспомогательными операциями по базированию на нём заготовок, установлению стандартного и специального инструмента, приспособлений и выверки их взаимного расположения в исходном положении перед началом обработки. Фактической настройке станка для проведения технологических операций предшествует составление схем технологических наладок металлорежущих станков, которые выполняются в технологических бюро машиностроительных предприятий на основе технологических операций выполнения конкретных механических операций. Эти схемы разрабатывают для рабочих-наладчиков, работающих в условиях серийного и массового производства изделий. При обработке сложных, дорогостоящих заготовок схемы наладок станков применяются в условиях мелкосерийного, и даже, единичного производства изделий. Чертежи технологических наладок позволяют рабочим представить и провести такие действия, как:

- уяснить, какие поверхности заготовки, и с какой точностью они должны быть обработаны в ходе выполнения всей технологической операции;
- сориентировать, установить и закрепить заготовку на станке;
- выбрать инструмент и привести органы управления станков в соответствие с указанными на схеме режимами обработки заготовки;
- соответствующим образом соединить технологическую оснастку;

- установить инструменты на станке, приспособления и закрепить их в определённых местах оборудования (станка);
- выверить все установленные элементы технологической наладки и свидетельствовать в установленном порядке о готовности станка к работе.

Контролёры отдела технического контроля по схемам технологических наладок проверяют правильность настройки оборудования (станка, агрегата, линии и др.) и качество обработанных поверхностей заготовок.

Для вычерчивания схем наладок используют паспорта станков, каталоги металлорежущего оборудования, справочники; устанавливают размеры и расположение рабочих зон станка, анализируются конструкции посадочных мест, технологические возможности станков, конструкции и размеры выбираемого инструмента, допустимые и оптимальные режимы резания, способы охлаждения зон резания и смазки, а также другие условия выполнения операции.

4.5.2. Базирование заготовки при обработке

В машине, механизме, станке детали соединяются между собой, обеспечивая передачу и преобразование движений. В процессе обработки детали закрепляются. Для ориентации деталей во время их обработки на станках, расположения готовых деталей в узлах машин, измерения деталей служат поверхности, линии, точки и их совокупности, которые называются базами. Различают технологические и конструктивные базы. Технологические базы разделяются на установочные и измерительные.

Установочные базы — поверхности (а также линии и точки), служащие для установки заготовки на станке и ориентирующие её относительно режущего инструмента. Установочными базами могут быть различные поверхности заготовок (наружные и внутренние цилиндрические поверхности), а также центровые гнёзда, плоскости.

В качестве баз при первоначальной обработке используют необработанные поверхности (черновые базы), при последующей обработке — обработанные поверхности (чистовые базы). Установочные базы делятся на основные и вспомогательные.

Основные установочные базы — это поверхности, которые ориентируют заготовки (обрабатываемые детали) на станке и положение готовых деталей в машине относительно других сопрягаемых деталей при её работе.

Вспомогательные установочные базы — это поверхности, которые используют только для установки деталей на станке; они не имеют особого значения для работы машины. Примерами вспомогательной базы являются центровые гнёзда вала, служащие для установки его в центрах станка сначала токарного, затем шлифовального. В качестве базы используют также необработанную шестигранную поверхность головки болта.

Измерительная база представляет собой поверхность (линию или точку), от которой производят отсчёт размеров.

Конструкторская база — это совокупность поверхностей, линий, точек, от которых заданы размеры и положение деталей при разработке конструкции. Конструкторские базы могут быть реальными (материальная поверхность) или геометрическими (осевые линии, точки).

При выборе черновых баз руководствуются следующими основными правилами:

- базовые поверхности должны быть по возможности ровными и чистыми; не следует, например, принимать в качестве баз поверхности, на которых располагаются литники, выпоры, заусенцы или линии разъёма моделей;
- базовые поверхности не должны изменяться относительно других поверхностей; не следует, например, брать в качестве базы поверхность литого отверстия, так как его положение может изменяться относительно других поверхностей;

- в качестве баз рекомендуется принимать поверхности с минимальными припусками или вообще не подвергаемые обработке;
- при переустановке заготовки черновые базы заменяются чистовыми.

При выборе чистовых баз следует выбирать основные базы, это обеспечивает большую точность обработки; обработку следует вести с соблюдением принципа постоянства баз; следует стремиться совмещать установочные и измерительные базы.

В качестве базирующих поверхностей при точении применяют наружную или внутреннюю цилиндрическую поверхность и торец, два центровых гнезда, наружную или внутреннюю цилиндрическую поверхность и центровое гнездо.

4.5.3. Схема технологической наладки токарно-револьверного станка

Подготовка токарно-револьверного станка к работе состоит в выполнении следующих действий:

- установка приспособления для закрепления детали;
- установка вспомогательного и режущего инструмента;
- настройка упоров для подачи прутков и ограничения хода суппортов;
- установка рукояток для получения необходимой частоты вращения шпинделя;
- установка кулачков для обеспечения подач инструмента, суппорта или револьверной головки;
- обработка двух-трёх деталей;
- проверка изготовленных пробных деталей;
- подналадка положения инструментов и упоров.

Станки с продольным перемещением револьверного суппорта, не имеющие поперечного суппорта, а также поперечного перемещения револьверной головки, имеют ограничения технологических возможностей. На этих станках

проводят центровку валов, сверление, растачивание, развёртывание, обтачивание, нарезание резьбы, подрезание широким резцом торцов небольшого диаметра. Такие работы, как проточка канавок, подрезка широких торцов, обработка фасонных поверхностей, отрезка проводятся, если имеются специальные державки, дающие возможность резцу перемещаться в поперечном направлении или использовать вращение револьверной головки.

Наладка станка с револьверной головкой, имеющей вертикальную ось поворота, для изготовления простых деталей проще, чем станка с револьверной головкой, имеющей горизонтальную ось поворота.

Наладка станка с револьверной головкой, имеющей горизонтальную ось вращения для обработки, требующей одновременного использования нескольких режущих инструментов, проще наладки на ту же работу револьверного станка с головкой, имеющей вертикальную ось вращения, так как в этом случае используются более простые державки, чем у станка с вертикальной головкой.

При переналадке станков этого типа для обработки заготовки другой конструкции револьверную головку меняют вместе с инструментами, предварительно в неё установленными. Одновременно меняют и зажимное приспособление, соответствующее новой заготовке. Затем по эталону детали, закреплённому в патроне, регулируют упоры, обрабатывают заготовки и измеряют полученную деталь, при необходимости производят подналадку станка.

Обтачивание и растачивание цилиндрических поверхностей на токарно-револьверных станках осуществляется резцами, установленными в специальных державках, закреплённых в револьверной головке, или в резцовой головке поперечного суппорта. При обработке на токарно-револьверном станке с вертикальной осью вращения головки для уменьшения погрешности обработки и получения стабильных размеров резцы целесообразно устанавливать в револьверную головку в вертикальной плоскости. Этим устраня-

ется влияние погрешности поворота револьверной головки, которая возникает при её фиксировании, на точность обработки заготовки.

В большинстве случаев, особенно при необходимости смены затупившихся резцов, снимают державку вместе с ними и ставят новую с заранее установленными резцами по детали-шаблону.

Длина проточки выдерживается упорами. При обработке заготовок с помощью поперечного суппорта или регулируемых державок требуемый размер достигается методом пробных проточек.

При смене отдельных резцов необходимо обработать заготовку, затем отвести револьверную головку, заменить затупившийся резец заточенным и слегка закрепить его. Затем револьверную головку подвести к обработанной заготовке, резец прижать к обработанной поверхности и окончательно закрепить. После такого способа смены резца размер обрабатываемой детали останется прежним, таким же приёмом заменяется фасонный резец.

Отверстия можно обрабатывать также свёрлами, зенкерами и другими мерными инструментами. Все инструменты закрепляются в головке жёстко, кроме развёрток, которые устанавливаются в маятниковые державки. Рекомендуется применение развёрток со спиральными зубьями для получения более точных и с меньшей шероховатостью отверстий, как с ровной поверхностью, так и с выемками вдоль её образующей (шпоночные канавки).

Обработка торцовых поверхностей может выполняться различными инструментами, установленными в резцовую головку поперечного суппорта или в револьверную головку. На станках с поперечным суппортом подрезание торцов рекомендуется производить резцами, установленными в резцовую головку, при поперечной подаче. При обработке ступенчатых поверхностей могут применяться широкие резцы с использованием продольной подачи поперечного суппорта.

На станках с горизонтальной осью револьверной головки, не имеющих поперечного суппорта, торцы подрезают резцами, установленными в револьверную головку при поперечной (круговой) подаче. Аналогичными приёмами производят отрезание деталей или прорезку канавок на обрабатываемой поверхности.

При обработке заготовок на токарно-револьверных станках достигается экономия основного времени за счёт совмещения работы нескольких инструментов, установленных в револьверной головке и в поперечном суппорте, применения комбинированного инструмента и нескольких инструментов, установленных в общей державке и работающих одновременно.

На рисунке 4.48 представлена схема технологической наладки токарно-револьверного станка 1Г340 для обработки штуцера за десять переходов, которым соответствуют нумерованные римскими цифрами позиции инструментов. В качестве исходной заготовки применяется стальной шестигранный прут. Пруток пропускается через отверстие цангового патрона станка. Последовательность переходов и соответствующих им обработок представляет следующий маршрут:

Позиция I (переход 1) — пруток выдвигается до упора в револьверной головке с вылетом 60 ± 1 и зажимается цанговым патроном;

Позиция II (переход 2) — торец шестигранника подрезается резцом 1 в резцедержателе поперечного суппорта;

Позиция III (переход 3) — торец шестигранника зацентровывается специальным сверлом в револьверной головке для получения конусного отверстия с углом при вершине 90° ;

Позиция IV (переход 4) — заготовка одновременно обтачивается и сверлится инструментом в державке револьверной головки. Сверлится отверстие $\varnothing 12^{+0,18}$ на глубину 52^{+1} и обтачивается наружная поверхность до $\varnothing 35_{-1}$ на длине $40^{+0,39}$;

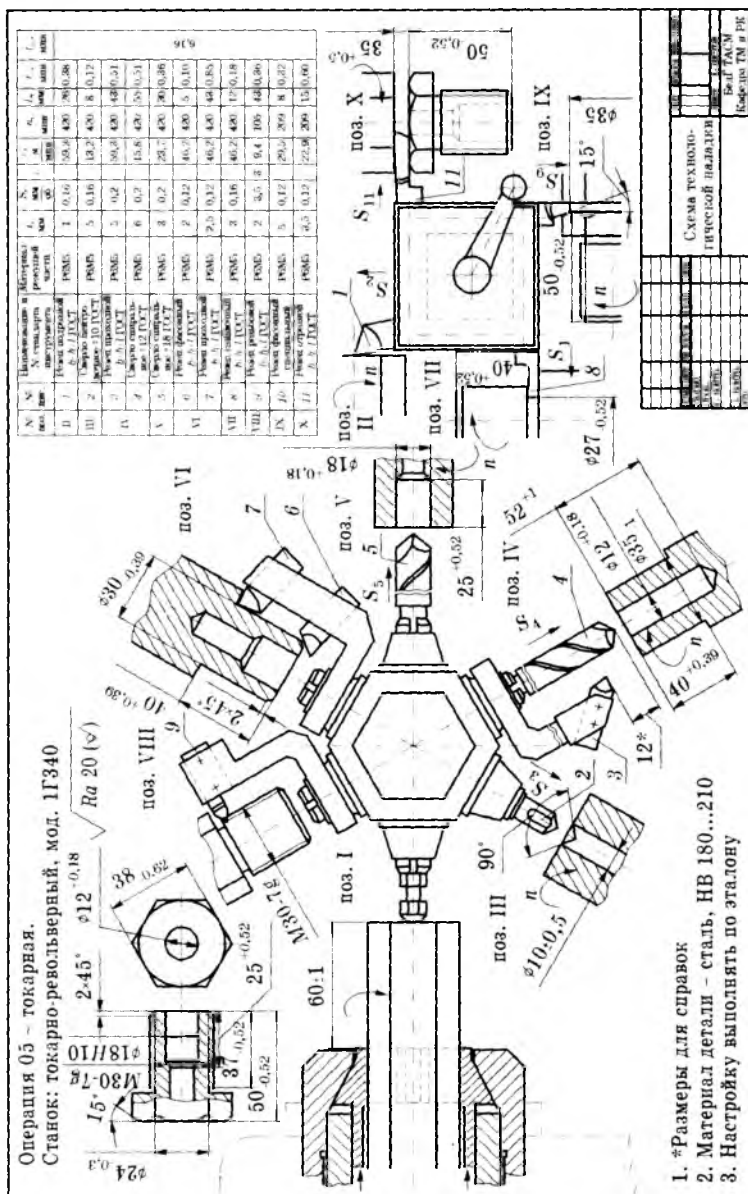


Рис. 4.48. Схема технологической наладки токарно-револьверного станка

Позиция V (переход 5) — рассверливание отверстия до $\varnothing 18^{+0,18}$ на глубину $25^{+0,52}$ сверлом в револьверной головке;

Позиция VI (переход 6) — обтачивание наружной поверхности под резьбу до $\varnothing 30_{-0,39}$ на длине $40^{+0,39}$ и обтачивание фаски $2 \times 45^\circ$ на диаметре $\varnothing 30_{-0,39}$ резцами в державке револьверной головки;

Позиция VII (переход 7) — прорезание канавки шириной $3^{+0,4}$ на глубину до диаметра $\varnothing 27_{-0,52}$ канавочным резцом в поперечном суппорте;

Позиция VIII (переход 8) — нарезание резьбы М30-7g резьбовым резцом в державке револьверной головки;

Позиция IX (переход 9) — точение фаски под углом 15° на диаметре $\varnothing 35$ на шестигранной головке штупера фасонным резцом в резцедержателе поперечного суппорта;

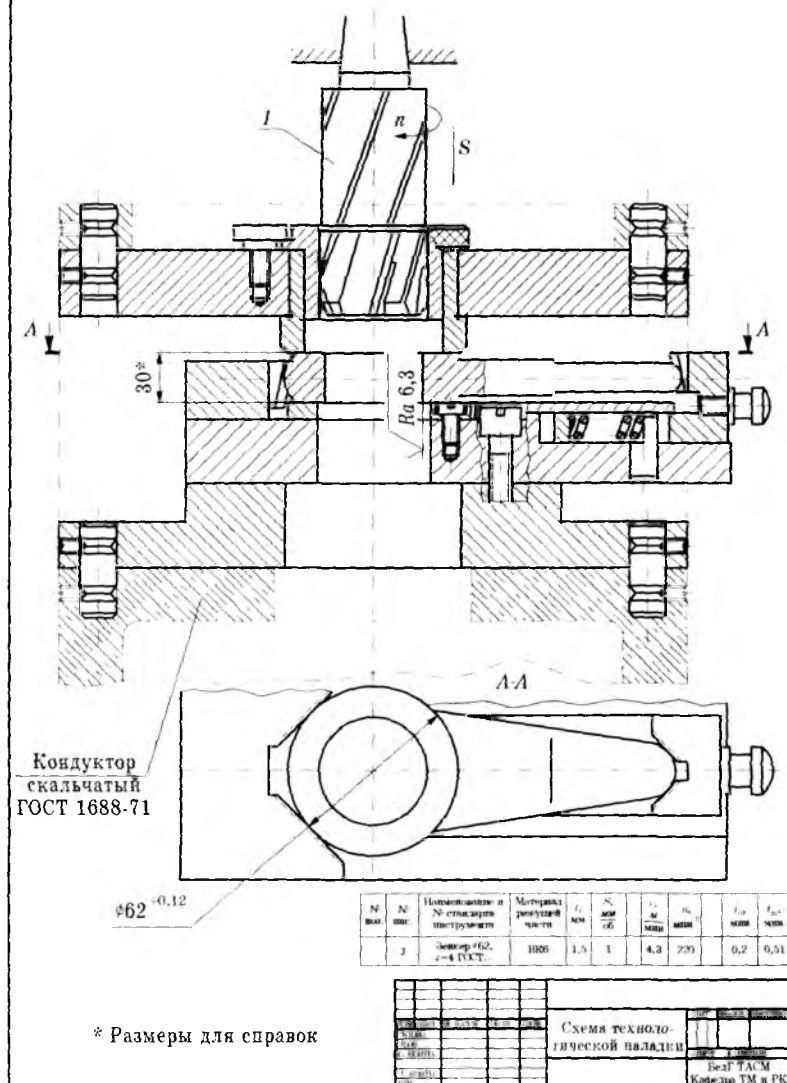
Позиция X (переход 10) — отрезание детали в размер $50_{-0,52}$ от шестигранника.

4.5.4. Схема технологической наладки вертикально-сверлильного станка

Технологическая наладка вертикально-сверлильного станка (рис. 4.49) включает использование скальчатого кондуктора, который позволяет вести обработку заготовки без предварительной разметки. В скальчатом кондукторе в качестве направляющих для подвижных частей устройства используются скалки (стойки), обеспечивающие точное соединение подвижных частей приспособления. Обработке подвергается заготовка рычага со сквозным отверстием, полученным при её отливке в литейной форме. Перед обработкой рычаг устанавливается в зажимное устройство с призматическими губками, которое соединено с кондуктором и определённым образом сориентировано относительно направляющей втулки кондуктора. Втулка направляет расточной зенкер 1 диаметром $\varnothing 62^{+0,12}$ мм в отверстие, обеспечивая точность координат центра отверстия относительно его наружной поверхности.

Операция 15 сверлильная.

Станок: вертикально-сверлильный, мод. 2Н135



4.49. Схема технологической наладки
вертикально-сверлильного станка

4.5.5. Схема технологической наладки шпоночно-фрезерного полуавтомата

На шпоночно-фрезерном полуавтомате осуществляется фрезерование шпоночных канавок на валах. Технологическая наладка (рис. 4.50) включает использование призм для базирования вала, рычажного гидравлического прижима для закрепления заготовки в призмах и упора. Гидроцилиндр прижима устанавливается на плите с помощью Т-образных болтов. Упор ограничивает перемещение вала вдоль оси и обеспечивает длину обработки, равную $25 \pm 0,2$ мм. Полуавтомат осуществляет фрезерование открытых и закрытых шпоночных пазов при маятниковом перемещении шпинделя со шпоночной фрезой. На схеме наладки ход фрезы составляет 27 мм. Ширина шпоночного паза равна $7,95^{+0,036}$ мм.

4.6. Режимы резания при механической обработке заготовок

4.6.1. Общие сведения

К основным элементам режима резания относят глубину резания t , подачу s инструмента или заготовки, скорость резания v , определяемую главным движением инструмента или заготовки. К расчёту этих элементов может добавляться определение усилия, мощности резания и крутящего момента на шпинделе станка, значения которых необходимы для проверки процентного использования мощности электродвигателя на станке, определение размеров сечения срезаемого слоя, а также расчёт основного или машинного времени на обработку. При назначении режима обработки учитывают характер обработки, тип и размеры режущего инструмента, материал его режущей части, материал и состояние обрабатываемой заготовки, тип и состояние применяемого металлорежущего оборудования.

Глубина резания t представляет собой расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное перпендикулярно к последней.

При однократной или черновой обработке глубину резания целесообразно назначать максимально возможной, равной величине припуска или большей части его. В последнем случае остающаяся часть припуска после черновой обработки распределяется на чистовые виды обработки. Припуск на чистовую обработку назначается в зависимости от требований, предъявляемых к точности размеров и к параметрам шероховатости обрабатываемой поверхности.

Подача s представляет собой величину перемещения режущей кромки инструмента относительно заготовки, обеспечивающего непрерывность врезания режущего лезвия инструмента в новые слои материала. Другими словами подача представляет собой перемещение режущей кромки относительно заготовки за один оборот инструмента или заготовки. Подача может быть продольной и поперечной. Для многолезвийного инструмента можно рассматривать такие виды подачи, как:

- перемещение инструмента относительно заготовки, приходящееся на один оборот инструмента или заготовки;
- перемещение инструмента относительно заготовки, приходящееся на один зуб инструмента;
- перемещение инструмента относительно заготовки в единицу времени, например в минуту.

Названные подачи используются при назначении режима резания при фрезеровании. Подача на один оборот используется при точении, сверлении (зенкеровании, развёртывании и т.д.). Величина подачи является определяющим фактором в формировании микронеровностей поверхности, то есть главным влияющим фактором обеспечения качества обработанной поверхности, выражаемым такими параметрами шероховатости, как Ra , Rz , R_{max} и др.

Подачу при черновой обработке назначают максимально возможной в зависимости от жёсткости и прочности си-

стемы ДИПС (деталь–инструмент–приспособление–станок), мощности привода станка, прочности твердосплавной пластины на резце и других ограничивающих факторов. При чистовой обработке подачу назначают в зависимости от требуемой точности размеров и параметров шероховатости обрабатываемой поверхности.

Скорость резания рассчитывают по эмпирическим формулам, установленным для каждого вида обработки, которые можно представить в обобщённом виде:

$$v = v_{\text{тб}} \cdot K_v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v,$$

где $v_{\text{тб}}$ — табличное значение скорости резания;

K_v — поправочный коэффициент на изменённые условия обработки;

C_v — коэффициент, значение которого даётся в таблице для конкретного вида обработки;

T — период стойкости инструмента, который устанавливается для конкретного вида обработки;

m — показатель относительной стойкости материала инструмента;

t и S — глубина резания и подача инструмента (заготовки);

x и y — степенные показатели, учитывающие влияние t и S на стойкость инструмента.

Поправочный коэффициент K_v представляет собой произведение ряда коэффициентов:

$$K = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{nv}.$$

Важнейшими коэффициентами являются:

K_{mv} — коэффициент, учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания;

K_{pv} — коэффициент, учитывающий влияние состояния поверхности заготовки на скорость резания;

K_{nv} — коэффициент, учитывающий влияние качества материала инструмента на скорость резания.

Для стали $K_{mv} = K_{\Gamma} (750/\sigma_B)^{n_v}$,
 для серого чугуна $K_{mv} = (190/HB)^{n_v}$,
 для ковкого чугуна $K_{mv} = (150/HB)^{n_v}$.

Здесь в этих выражениях σ_B — предел прочности стали на растяжение, HB — твёрдость чугунов по Бринеллю, K_{Γ} — коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости (он колеблется от 1,0 до 0,6 и берётся по справочнику), n_v — степенной показатель, зависящий от материала инструмента (он может принимать значения -1; -0,9; 1,0; 1,05...1,75 и берётся по справочной таблице). В зависимости от марки обрабатываемого материала величина коэффициента K_{mv} может колебаться в пределах от 0,2 (сталь ХН65ВМТЮ) до 12 (сплавы на основе свинца). Для стали 12Х13 ($\sigma_B = 600$ МПа) $K_{mv} = 1,5$.

Значение коэффициента K_{mv} колеблется в пределах от 0,5...0,6 (для сильно загрязнённых поверхностей отливок) до 1,0 (для отливок с удалённой литейной коркой).

Значение коэффициента K_{mv} колеблется в пределах от 0,35 (для конструкционной стали, обрабатываемой резцом с пластиной из твёрдого сплава Т5К12В) до 2,7 (сталь, чугун, медные и алюминиевые сплавы, обрабатываемые резцом с пластиной из твёрдого сплава ВК6).

В справочной литературе необходимые для расчётов скорости резания коэффициенты снабжены подстрочным индексом «v», для расчёта усилия резания — подстрочным индексом «p».

4.6.2. Режимы резания при точении

При наружном продольном точении глубина резания определяется по формуле $t = \frac{D-d}{2}$, где D и d — диаметры заготовки до и после обработки.

Глубину резания, как уже отмечалось выше, целесообразно назначать максимально возможной. Вместе с тем при

требуемой величине параметра шероховатости Ra до 3,2 мкм включительно глубина резания t должна быть в пределах 0,5...2,0 мм, а при Ra до 0,8 мкм включительно глубина резания t должна быть в пределах 0,1...0,4.

Подача при черновом точении принимается максимально допустимой для конкретных значений мощности привода оборудования, жёсткости системы ДИПС, прочности режущей пластины на инструменте, прочности державки для инструмента. Подачи при чистовом точении назначаются в зависимости от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности. При прорезании пазов и отрезании заготовки к указанным факторам, влияющим на выбор подачи, добавляется необходимость учёта физико-механических свойств материала, размеров паза и диаметра заготовки.

Черновое обтачивание заготовки из углеродистой стали при глубине резания 3 мм резцом из твёрдого сплава с размерами поперечного сечения державки 25×25 и вылетом головки резца из резцедержателя в 125 мм допустимая подача составляет 0,15...0,4 мм.

Чистовое обтачивание заготовки из углеродистой стали для заданного параметра шероховатости $Ra = 0,63$ мкм составляет 0,1...0,15 мм/об для резца с радиусом при вершине 1...2 мм.

Скорость резания при продольном, поперечном точении и растачивании рассчитывается по эмпирической формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v,$$

а при отрезании, прорезании и фасонном точении определяется по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m S^y} \cdot K_v.$$

При точении в произведение поправочных коэффициентов K_v , которые были рассмотрены выше, следует включить поправочные коэффициенты, учитывающие изменение геометрии резца: K_ϕ , $K_{\phi 1}$ и K_r .

Для $\varphi = 45^\circ$ $K_\varphi = 1$; для $\varphi = 90^\circ$ $K_\varphi = 0,7$; для $\varphi = 20^\circ$ $K_\varphi = 1,4$.

Для $\varphi_1 = 20^\circ$ $K_{\varphi_1} = 1$; для $\varphi_1 = 45^\circ$ $K_{\varphi_1} = 0,94$; для $\varphi_1 = 75^\circ$ $K_{\varphi_1} = 0,87$.

Для $r = 1$ $K_r = 0,94$; для $r = 2$ $K_r = 1,0$; для $r = 5$ $K_r = 1,13$.

Рассчитанное значение скорости резания представляют в виде частоты вращения инструмента или заготовки по уравнению:

$$N = \frac{1000 v}{\pi D}.$$

По рассчитанному значению выбирают из имеющихся по паспортным данным станка действительную частоту вращения шпинделя и действительное значение скорости резания по формуле:

$$v = \frac{\pi D n}{1000}.$$

Основное время обработки заготовки определяют по формуле:

$$T = \frac{L}{nS} \cdot i,$$

где L — расчётная длина хода резца в мм;

i — число проходов.

Расчётная длина хода резца при продольном точении состоит из длины обрабатываемой поверхности l_1 , длины врезания резца l_2 (холостой ход резца до заготовки) и длины перебега l_3 (холостой ход резца после заготовки), то есть:

$$L = l_1 + l_2 + l_3.$$

Длина врезания резца зависит от глубины резания и главного угла в плане φ :

$$l_2 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi.$$

Перебег резца принимают равным 1...3 мм в зависимости от диаметра обрабатываемой заготовки.

Усилие резания при точении складывается из его составляющих P_x , P_y , P_z , действующих в направлении осей пространственной системы координат X , Y , Z . Наибольшей по величине главной по значению является тангенциальная (касательная) сила резания P_z . Радиальная сила резания P_y преодолевается жёсткостью системы ДИПС оборудования. Осевая сила P_x преодолевается механизмом обеспечения подачи инструмента. Силы резания определяются по формуле:

$$P_{z, y, x} = 10 C_p t^x S^y v^n \cdot K_p.$$

Здесь $K_p = K_{\text{мр}} \cdot K_{\text{фр}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\lambda, p} \cdot K_{\lambda, p} \cdot K_{r, p}$.

Поправочный коэффициент $K_{\text{мр}}$ учитывает свойства обрабатываемого материала и определяется по формулам:

для стали $K_{\text{мр}} = (\sigma_s/750)^{n_p}$, $n_p = 0,75$ для твёрдого сплава;

для серого чугуна $K_{\text{мр}} = (HB/190)^{n_p}$, $n_p = 0,4$ для твёрдого сплава;

для ковкого чугуна $K_{\text{мр}} = (HB/150)^{n_p}$, $n_p = 0,4$ для твёрдого сплава.

Численные значения поправочных коэффициентов $K_{\text{фр}}$, $K_{\text{гр}}$, $K_{\lambda, p}$, $K_{r, p}$ берутся из справочных таблиц. Для оптимальных значений углов резца эти коэффициенты равны единицы. Например $K_{\text{фр}} = 1$ при $\phi = 45^\circ$; $K_{\text{гр}} = 1$ при $\gamma = 10^\circ$; $K_{\lambda, p} = 1$ при $\lambda = -5^\circ$; $K_{r, p} = 1$ при $r = 2$ мм;

Мощность резания в киловаттах рассчитывают по формуле:

$$N = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60}.$$

4.6.3. Режимы резания при сверлении, зенкерования и развёртывании

Глубина резания при сверлении отверстий в сплошном материале равна половине диаметра сверла, то есть $t = 0,5D$. При рассверливании, зенкерования и развёртывании $t = 0,5(D - d)$. Здесь d — диаметр отверстия до его обработки.

Подача сверла, если отсутствуют ограничивающие факторы, выбирается максимально допустимой, обусловленной прочностью инструмента по справочным таблицам. При рассверливании отверстий подача, рекомендованная для сверления, может быть увеличена в два раза. При наличии ограничивающих факторов при сверлении и рассверливании подачи выбираются равными по величине. Их определяют умножением табличных значений подач на соответствующий поправочный коэффициент.

Виды ограничивающих факторов и значения поправочных коэффициентов обычно приводятся в качестве примечаний в тех же справочных таблицах, где даются значения подачи инструмента. Например, при сверлении отверстия диаметром 9 мм в стальной заготовке, твёрдость которой составляет HB 240...300, подача сверла может быть выбрана в пределах 0,14...0,17 мм/об. Если глубина отверстия составляет $10D$, то поправочный коэффициент K_{ls} , на который следует умножить подачу, будет равен 0,75. Если сверление предшествует развёртыванию, то полученное значение подачи после умножения на поправочный коэффициент K_{ls} следует дополнительно умножить на поправочный коэффициент обеспечения более высокого качества поверхности отверстия, то есть на $K_{os} = 0,5$. Жёсткость системы ДИПС требует использования поправочного коэффициента от 0,5 до 1,0. Должен быть учтён характер материала сверла. Для твердосплавных свёрл должен быть применён коэффициент $K_{us} = 0,6$. Для свёрл из быстрорежущей стали $K_{us} = 0,6$.

Скорость резания при сверлении определяется по эмпирической формуле:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v.$$

При рассверливании, зенкерования и развёртывании скорость определяется по формуле:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y} K_v.$$

В этих формулах:

C_v — коэффициент, соответствующий виду и условиям обработки;

D — диаметр инструмента;

T — стойкость инструмента;

t и S — глубина резания и подача инструмента;

x и y — степенные показатели, учитывающие влияние глубины резания и подачи на скорость резания.

Все эти величины выбираются из справочных таблиц.

Общий поправочный коэффициент для скорости резания, учитывающий конкретные условия резания, определяется точно так же, как и при точении:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{lv},$$

где K_{mv} — поправочный коэффициент на обрабатываемый материал. Он определяется так же, как и при точении;

K_{nv} — поправочный коэффициент, учитывающий марку материала инструмента. Он определяется так же, как и при точении;

K_{lv} — поправочный коэффициент, учитывающий изменение глубины сверления.

При рассверливании и зенкерования литых или штампованных отверстий вводятся дополнительный поправочный коэффициент K_{nv} , который выбирается по тем же справочным таблицам, которыми пользуются при расчёте скорости резания при точении.

Крутящий момент и осевую силу рассчитывают по формулам:

при сверлении:

$$M_{кр} = 10 C_m D^q S^y K_p; P_o = 10 C_p D^q S^y K_p;$$

при рассверливании и зенкерования:

$$M_{кр} = 10 C_m D^q t^x S^y K_p; P_o = 10 C_p t^x S^y K_p.$$

Значения коэффициентов C_m и C_p , а также показателей степени выбирают из справочных таблиц.

Коэффициент, учитывающий фактические условия обработки, в данном случае зависит только от материала обрабатываемой заготовки и определяется выражением $K_p = K_{\text{мр}}$, где $K_{\text{мр}}$ определяется также, как и при точении.

Для определения крутящего момента при развёртывании каждый зуб инструмента можно рассматривать как расточной резец. Тогда при диаметре инструмента D крутящий момент равен:

$$M_{\text{кр}} = \frac{C_p t^x S^y Dz}{2 \cdot 100}.$$

Здесь S_z — подача на один зуб инструмента, равная S/z , где S — подача, z — число зубьев развёртки. Все значения коэффициентов и показателей степени приводятся в справочниках по технологии машиностроения.

Мощность резания при сверлении определяется по формуле:

$$N = \frac{M_{\text{кр}} n}{9750},$$

где частота вращения инструмента или заготовки равна:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}.$$

4.6.4. Режимы резания при фрезеровании

Как было показано выше, выбор типа применяемой фрезы зависит от конструкции обрабатываемой заготовки. Её размеры определяются размерами обрабатываемой поверхности и глубиной срезаемого слоя. Диаметр фрезы для сокращения времени на обработку и расхода инструментального материала назначают, возможно, меньшей величины, учитывая при этом особенности резания при фрезеровании, жёсткость станка и другие факторы.

При торцовом фрезеровании для достижения производительных режимов резания диаметр фрезы должен быть

больше ширины фрезерования (размера срезаемого слоя в направлении, перпендикулярном оси вращения фрезы), то есть $D = (1,25 \dots 1,5) B$. При обработке стальных деталей обязательным является несимметричное расположение фрезы относительно заготовки. Для заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей сдвиг заготовки и инструмента относительно друг друга производят так, чтобы обеспечить начало резания при малой толщине срезаемого слоя; для заготовок из жаропрочных и коррозионностойких сталей сдвиг заготовки относительно инструмента производят в другую сторону так, чтобы обеспечить выход зуба из резания с минимально возможной толщиной срезаемого слоя. Несоблюдение указанных правил приводит к значительному снижению стойкости инструмента.

Глубина фрезерования t и ширина фрезерования B — понятия, связанные с размерами слоя заготовки, срезаемого при фрезеровании. Во всех видах фрезерования, за исключением торцового, глубина резания t определяет продолжительность контакта зуба фрезы с заготовкой; глубину резания t измеряют в направлении, перпендикулярном к оси фрезы. Ширина фрезерования B определяет ту длину лезвия зуба фрезы, которая участвует в резании; ширину фрезерования B измеряют в направлении, параллельном оси фрезы. При торцовом фрезеровании эти понятия меняются местами.

При фрезеровании различают подачу на один зуб S_z , подачу на один оборот фрезы s и подачу минутную S_m , мм/мин, которые находятся в следующем соотношении:

$$S_m = Sn = S_z \cdot zn,$$

где n — частота вращения фрезы, об/мин;

z — число зубьев фрезы.

Исходной величиной подачи при черновом фрезеровании является величина её на один зуб S_z , при чистовом фрезеровании — на один оборот фрезы S , по которой для дальнейшего использования вычисляют величину подачи на один

зуб $S_z = S/z$. Рекомендуемые подачи для различных фрез и условий резания приведены в справочных таблицах.

Скорость резания представляет собой окружную скорость точки, лежащей на наружном диаметре вращающейся фрезы, размерность которой — м/мин:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y B^u z^p} K_v.$$

Значения коэффициента C_v , показателей степеней и периода стойкости приводятся в справочных таблицах.

Общий поправочный коэффициент K_v , учитывающий качество обрабатываемой поверхности представляет собой произведение коэффициентов, которые были рассмотрены в разделе о режиме резания при точении:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{nv},$$

где K_{mv} — поправочный коэффициент на обрабатываемый материал. Он определяется так же, как и при точении;

K_{pv} — поправочный коэффициент, учитывающий состояние поверхности обрабатываемой заготовки, определяется так же, как при точении или рассверливании;

K_{nv} — поправочный коэффициент, учитывающий марку материала инструмента. Он определяется так же, как и при точении.

Главная составляющая силы резания — окружная определяется по формуле:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S^y B^n z}{D^q n^w} K_{mp},$$

где z — число зубьев фрезы;

n — частота вращения фрезы, мин⁻¹.

Крутящий момент на шпинделе фрезерного станка определяется по формуле:

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100}.$$

Эффективная мощность резания при фрезеровании составит:

$$N = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60}.$$

Основное технологическое (машинное) время при фрезеровании (за один проход) определяют по следующей формуле:

$$T = \frac{L}{S_m} = \frac{l + l_1 + l_2}{S_m},$$

где L — общая длина относительного перемещения фрезы и заготовки из исходного положения в конечное положение;

l — длина обработанной поверхности в мм;

l_1 — путь врезания фрезы в мм;

l_2 — перебеж фрезы (1...5 мм).

Путь врезания при обработке плоскости цилиндрической фрезой может быть определён по формуле:

$$l_1 = \sqrt{t(D - t)}.$$

Путь врезания при обработке торцевой фрезой равен:

а) при симметричном фрезеровании:

$$l_1 = 0,5 \left(D - \sqrt{D^2 - B^2} \right);$$

б) при несимметричном фрезеровании:

$$l_1 = \sqrt{B(D - B)}.$$

4.6.5. Режимы резания при шлифовании

Режимы резания при шлифовании назначают в следующем порядке.

- а) Выбирают характеристики круга (в зависимости от свойств обрабатываемого материала и технических требований) и устанавливают его окружную скорость v_k . Правильный выбор характеристик абразивного инструмента в значительной степени определяет производительность

шлифования, износ инструмента, экономичность процесса и качество поверхности обработанной заготовки. Характеристики абразивного инструмента выбирают в зависимости от вида шлифования, физико-механических свойств материала детали, требуемой точности и качества поверхности, мощности и состояния станка, величины припуска, состава СОЖ (смазывающе-охлаждающей жидкости) и метода её подвода в зону резания.

Следует иметь в виду, что при шлифовании алмазными кругами железоуглеродистых сплавов, никеля, кобальта и при шлифовании кругами из карбида кремния сталей из-за высоких температур и химического сродства материалов абразива и детали преобладающим видом износа зёрен является диффузионный износ, который снижает стойкость кругов. Вследствие этого для шлифования сталей следует выбирать круги из электрокорунда, монокорунда, электрокорунда хромистого и титанистого.

Для снижения теплонапряжённости процесса резания и улучшения качества поверхности деталей применяют шлифовальные круги с прерывистой рабочей поверхностью, имеющей чередующиеся выступы и впадины шириной от 2 до 45 мм. При работе такими кругами температура резания уменьшается из-за прерывания процесса резания, уменьшения интенсивности излучения теплового источника и улучшения режущих свойств круга. При прерывистом шлифовании по сравнению с обычным процессом силы резания снижаются на 20...30 %. Для сохранения формы круга, твёрдость прерывистых кругов берётся на 1...2 степени выше.

При шлифовании нержавеющей и жаропрочных сталей высокие режущие свойства имеют круги из монокорунда твёрдостью МЗ...СМ2 и зернистостью 16...25 10-й структуры с применением СОЖ, состоящей из сульфозфрезола с 10 % керосина.

При шлифовании титановых сплавов применяют круги из карбида кремния 63С. Увеличение v_k может ограничиваться жёсткостью станка и прочностью круга. При раз-

личных видах шлифования $v_k = 10...35$ м/с, а при скоростном шлифовании $v_k > 35$ м/с.

При назначении режимов чистового шлифования вначале выбирается зернистость круга, затем параметры режима, обеспечивающие получение необходимого качества поверхности.

Высота микронеровностей Rz , связана со средним размером абразивных зёрен d_a зависимостью $Rz = c_R \sqrt{d_a}$.

При обдирочном шлифовании применяют крупнозернистые (№ 160...80) и твёрдые круги (СТ-ВТ) на керамической связке. При предварительном шлифовании используют круги зернистостью № 50...40, при чистовом шлифовании № 25...12, для хонингования — бруски зернистостью № 3...М50, при суперфинишировании — М28 и мельче.

б) Выбирают глубину резания t (поперечную подачу S_n)

На черновых проходах $t = 0,05...0,10$ мм/дв. ход; на чистовых $t = 0,005...0,02$ мм/дв. ход. При шлифовании неметаллических материалов значения t до $0,2...0,5$ мм/дв. ход.

в) Определяют продольную S и минутную S_m подачи. Продольную подачу выражают в долях ширины круга B . При черновом шлифовании $S = (0,4...0,8) B$ мм/об, при чистовом $S = (0,1...0,3) B$ мм/об. Меньшие значения подач выбираются при шлифовании жаропрочных и титановых сплавов.

Минутная подача (размерность мм/мин) равна $S_m = S n_d$.

г) Определяют окружную скорость v_d детали (или скорость стола при плоском шлифовании) и корректируют выбранное значение v_d по кинематическим данным станка. На черновых проходах $v_d = 20...85$ м/мин, а на чистовых $v_d = 15...40$ м/мин. При шлифовании тугоплавких и титановых сплавов $v_d = 10...12$ м/мин, а для жаропрочных сплавов целесообразно увеличивать до 70 м/мин.

д) Подбирается охлаждающая жидкость.

е) Вычисляют силу P_z и мощность, потребную на шлифование.

Окружная сила резания, создающая крутящий момент резания, может быть определена по формуле:

$$P_z = C_p v^n S^y t^x,$$

где при наружном круглом шлифовании кругом из электрокорунда зернистостью 40, $D_k = 500$ мм; $B = 40$ мм; $v = 30$ м/с; $n = 0,7$; $x = 0,6$; $y = 0,7$; $C_p = 2,2$ для закалённой стали; $C_p = 2,1$ для незакалённой стали; $C_p = 2,0$ для чугуна.

Следует отметить, что значение P_z является небольшой величиной, равно в среднем (300...500) Н.

Мощность резания определяют по формуле:

$$N = \frac{P_z v_k}{1020 \cdot 60};$$

для шлифования периферией круга с продольной подачей по формуле:

$$N = C_N v_3^r t^x S^y d^q;$$

для врезного шлифования периферией круга:

$$N = C_N v_3^r S_p^y d^q b^z;$$

для шлифования торцом круга:

$$N = C_N v_3^r t^x b^z,$$

где d — диаметр шлифования;

b — ширина шлифования;

v_3^r — окружная скорость заготовки.

Значения всех коэффициентов и степенных показателей берутся по справочным таблицам.

ж) Определяют машинное время $T_{\text{маш}}$, мин. При наружном круглом шлифовании методом продольной подачи:

$$T_{\text{маш}} = \frac{Lhk}{S_d B n_d t},$$

где L — длина хода стола, превышающая длину обрабатываемой детали на несколько миллиметров;

h — припуск на обработку, мм;

k — коэффициент, учитывающий время зачистных ходов (время выхаживания) ($k = 1, 2 \dots 1,5$).

4.7. Технологический процесс обработки заготовок и его проектирование

4.7.1. Общие сведения

Технологический процесс обработки заготовок является одним из основных элементов производственного процесса изготовления изделий. В соответствии с ГОСТ 3.1109-82 технологический процесс представляет собой часть производственного процесса, содержащую целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. Положения ГОСТ 14.301-83 в создании технологических процессов предусматривают такие этапы, как:

- установление серийности производства;
- анализ исходных данных для проектирования технологического процесса;
- подбор действующего типового, группового, модульного технологического процесса или поиск аналога единичного процесса;
- выбор способа получения исходной заготовки;
- выбор технологических баз;
- разработка технологического маршрута обработки заготовки;
- разработка технологических операций;
- выбор средств технологического и инструментального оснащения обработки заготовки;
- определение потребности в средствах технологического оснащения, его проектирование и изготовление (оформление заказа);
- выбор средств механизации и автоматизации технологического процесса;
- нормирование технологических операций;
- определение и расчёт вспомогательных операций к технологическому процессу (транспортирование, упаковка и др.);

- проведение мероприятий по обеспечению безопасности всех стадий технологического процесса обработки заготовок;
- разработка, оформление и размножение технологической документации.

Под средствами технологического оснащения понимают оборудование и технологическую оснастку, включающую приборы и устройства для испытаний и контроля.

Важнейшей частью реализации проекта производственного процесса является его техническая подготовка, включающая конструкторскую и технологическую подготовку производства.

Конструкторская подготовка производства представляет собой разработку конструкции изделия и его составляющих деталей, создание чертежей общей сборки изделия, сборочных единиц, рабочих чертежей отдельных деталей изделий, поставленных на производство, оформление других видов конструкторской документации.

Технологическая подготовка производства представляет собой совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность основного производства предприятия к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, объёме выпуска и затратах на производство.

К технологической подготовке производства относится обеспечение заданного уровня технологичности изделия, разработка технологических процессов, проектирование и изготовление средств технологического и инструментального оснащения, метрологическое обеспечение технологического процесса и другие мероприятия, регламентируемые положениями единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Технологическая подготовка производства является наиболее ответственной и трудоёмкой частью его технической подготовки. Для единичного производства трудоёмкость технологической подготовки производства составляет

30...40 % от общей трудоёмкости подготовки производства, для серийного производства — 40...50 % и для массового производства — 50...60 %.

Технологический процесс состоит из технологических операций.

Технологическая операция является законченной частью технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте одним или несколькими рабочими.

Операция выполняется за один или несколько установов.

Установ (установка) представляет собой часть технологической операции, выполняемой при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или собираемой сборочной единицы.

Обрабатываемая заготовка или собираемый узел, располагаясь в приспособлении, могут менять своё положение относительно рабочих элементов оборудования, занимая различные позиции.

Позицией называют фиксированное положение, занимаемое неизменно закреплённой обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей вместе с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определённой части операции.

Операция обычно выполняется за один или несколько переходов. Различают переходы технологические и вспомогательные.

Технологическим переходом называют законченную часть технологической операции, выполняемую одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

Вспомогательный переход представляет собой законченную часть технологической операции, состоящей из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и поверхностей, но необходимы для выполнения технологического перехода. Например, установка и закрепление заготовки, отвод или подвод резца, смена инструмента и т.д.

Технологический переход может осуществляться за один или несколько ходов. Ход может быть рабочим и вспомогательным.

Рабочий ход — это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности или свойств заготовки.

Вспомогательный ход — это законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождающегося изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки, но необходимого для выполнения рабочего хода. Например, подвод инструмента, отвод инструмента и т.д.

Технологические процессы (ТП) классифицируют на единственный, типовой и групповой.

Единичный ТП разрабатывается индивидуально на конкретное изделие.

Типовой ТП создают для группы изделий, обладающих общими конструктивными и технологическими признаками (валы, зубчатые колёса, рычаги и т.д.).

Групповой ТП — это технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками (детали, обрабатываемые на токарных станках, детали, обрабатываемые на фрезерных станках, и т.д.).

Развитием типового и группового ТП является *модульный технологический процесс*, который базируется на единстве технологических методов обработки элементарных поверхностей (модулей) различных деталей.

Степень детализации описания технологического процесса определяется серийностью производства и экономическими соображениями.

В единичном производстве осуществляется маршрутное описание ТП, которое заключается в сокращённом описании всех технологических операций в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов.

В мелкосерийном и среднесерийном, а для ответственных изделий и в единичном производстве проводится *маршрутно-операционное описание* ТП, при котором даётся сокращённое описание технологических операций в маршрутной карте и полное описание ответственных операций, формирующих качество изделий.

В крупносерийном и массовом производствах, осуществляется *операционное описание* ТП, которое сводится к полному описанию всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием технологических переходов и режимов. Полное операционное описание ТП проводится также для ответственных изделий в средне- и мелкосерийном производствах.

4.7.2. Чертёж детали — основа разработки технологического процесса

Основой для разработки технологического процесса являются:

- чертёж детали с техническими требованиями на её изготовление;
- производственная программа выпуска детали данного наименования.

Наименование детали, её обозначение (номер чертежа) с указанием сборочной единицы (узла), к которой она относится, и годовую программу выпуска утверждаются перед началом проектирования технологического процесса.

Конструктор после знакомства с полученной (исходной) информацией и тщательного её анализа составляет себе представление об особенностях конструкции и назначении детали, а также её общие технологические характеристики, которые обычно включают:

- 1) наименование изделия или узла, составной частью которого является деталь;
- 2) назначение изделия или узла и общая его характеристика;

- 3) назначение детали в изделии (узле), способ её установки и требования к базированию в изделии, взаимодействие с другими деталями изделия;
- 4) описание форм и назначения основных функциональных и свободных поверхностей: плоскостей, пазов, шеек, отверстий, галтелей, резьбы, шлицов, наружных форм; здесь даётся изложение специфических особенностей конструкции детали;
- 5) характеристику физико-механических свойств материала, сведения о нагрузках (силах и моментах сил), воспринимаемых деталью в процессе её эксплуатации, результаты анализа соответствия материала назначению детали, расчёт её массы;
- 6) предварительную оценку анализа технологичности детали с указаниями возможностей осуществления таких мероприятий, как:
 - снижение точности выполняемых размеров и сокращение общего количества обрабатываемых поверхностей;
 - повышение жёсткости конструкции и обеспечение удобства и надёжности базирования заготовок при обработке;
 - унификация и стандартизация вспомогательных поверхностей: фасок, выточек, канавок, галтелей, сбегов, скруглений и др.;
 - использование современного высокопроизводительного оборудования и применение наиболее эффективного метода обработки: осуществление последовательной или параллельной обработки и др.

Здесь же анализируют возможности выполнения прочих технических требований с точки зрения технологических возможностей производства.

Результатами изучения и анализа исходных данных могут служить предложения по усовершенствованию конструкций детали, замене её материала более или менее прочным, более дешёвым и другие предложения. Результатом прове-

дённного анализа может быть подтверждение целесообразности её первоначального варианта.

Следующим этапом проектирования является разработка рабочего чертежа детали. Чертёж выполняют в масштабе 1:1 (1:2 для крупных и 2:1 для мелких деталей) с необходимым количеством проекций, разрезов и сечений на форматах А4 или А3. На чертеже проставляют все необходимые размеры. На каждый размер между поверхностями устанавливают допуски. Затем составляют и вносят в чертёж необходимый минимум технических требований: допустимые погрешности форм и расположения поверхностей, их твёрдость и др. Технические требования на чертежах указывают с помощью условных символов, рекомендуемых положениями ЕСКД. Те требования, для которых условных обозначений нет, излагаются на поле чертежа текстом. Для обоснованного и квалифицированного назначения допусков на размеры, значений параметров шероховатости поверхностей и различных технических требований пользуются рекомендациями и указаниями стандартов, справочников и необходимой технической литературы.

Чертёж вместе с описаниями конструкции составляет единое целое. Он должен создавать у пользователей полное представление о детали, что позволяет (при необходимости) правильно её изготовить.

Например, в сборочную единицу токарно-винторезного станка входит зубчатое колесо (чертёж ТВС 1Н61-2-116), которое представлено на рисунке 4.51. Годовая программа выпуска зубчатых колёс составляет 4800 деталей в год. Примерное описание детали может выглядеть так.

Колесо зубчатое является деталью коробки подач токарно-винторезного станка. Оно жёстко крепится на промежуточном валу и служит для передачи движения от привода к шестерне ходового винта. Соединение колеса с промежуточным валом осуществляется с помощью прямобочных шлицев. Центрирование шлицевого отверстия относительно оси вала осуществляется по наружному диаметру шлицевого соединения.

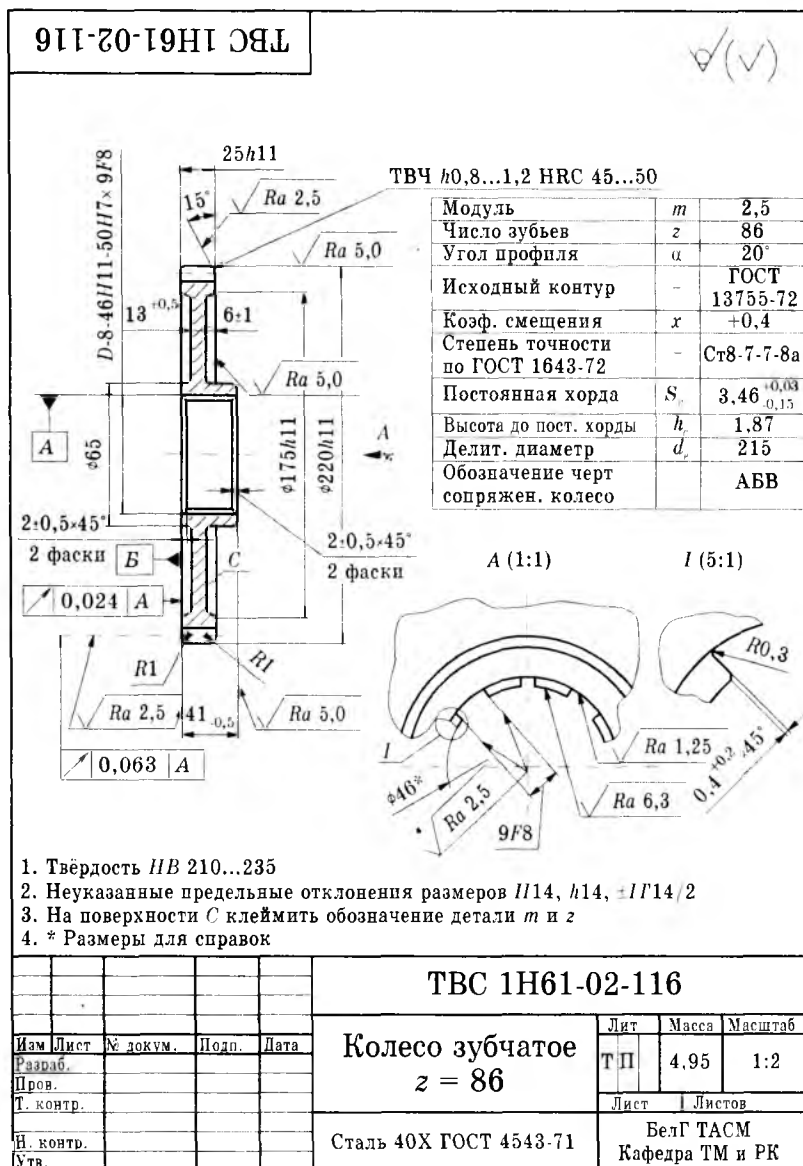


Рис. 4.51. Чертёж зубчатого колеса

Предлагаемая посадка $50H7/h7$ для центрирующих элементов соединения соответствует предпочтительной для стандартных требований эксплуатации.

Размеры основных конструктивных элементов зубчатого колеса представлены на чертеже. Зубчатый венец имеет диаметр 220 мм и ширину 25 мм, реборда (средняя часть) имеет толщину 13 мм, ступица изготавливается с наружным диаметром, равным 65 мм, и длиной — 41 мм.

На венце нарезано 86 зубьев с модулем $m = 2,5$ мм. Диаметр делительной окружности $d_e = 215$ мм. Все зубья венца имеют с одной стороны скос под углом $\alpha = 15^\circ$, служащий для более плавного входа зубьев ведущей шестерни блока шестерён при включении зацепления. С обоих торцов зубья имеют закругления $r = 1$ мм. Реборда не имеет перфораций, т.е. является целой. В осевом сечении колеса она располагается симметрично относительно венца и несимметрично относительно ступицы. С одной стороны колеса торцы ступицы и венца лежат в одной плоскости, а с другой стороны, со скосами зубьев, ступица выступает за плоскость торца венца на 16 мм. В ступице концентрично делительной окружности (с допуском биения 0,063 мм) обработано шлицевое отверстие $D-8-46H11 \times 50H7 \times 9F8$. Для свободной посадки на вал с обоих торцов отверстия обтачиваются фаски $2 \times 45^\circ$.

Требования к точности и шероховатости всех функциональных и свободных поверхностей указаны на чертеже. Необрабатываемые поверхности могут сохранять штамповочные уклоны и радиусы.

Материалом зубчатого колеса служит сталь 40Х ГОСТ 4043-71, улучшенная до твёрдости НВ 215-235, и характеристиками прочности, МПа: $\sigma_s = 600 \dots 700$, $\sigma_T = 320 \dots 400$, $\delta_{из} = 180$ и $\delta_{доп} = 500$. Венец термически обрабатывается до твёрдости HRC 45...50. Колесо передаёт максимальный крутящий момент M_{max} , при работе двигателя $N = 3,7$ кВт и минимальной частоте вращения промежуточного вала $n_{min} = 198 \text{ мин}^{-1}$, т.е. $M_{max} = 9555 \cdot N / n_{min} = 9555 \cdot 3,7 / 198 = 178,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$. При этом на зубья колёс действует сила P , определяемая по уравнению:

$$P = \frac{T_{\max}}{D_e} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 178,6}{215} = 1661 \text{ Н.}$$

$$2 \cdot 1000$$

Эта сила вызывает в сечениях зубьев напряжения изгиба $\delta_{\text{из}} \approx 169$ МПа. Следовательно, $\delta_{\text{из}} < [\delta_{\text{из}}]$, аналогично $\delta_{\text{доп}} < [\delta_{\text{доп}}]$. Таким образом, материал зубчатого колеса и режим его термообработки подобраны правильно. Расчётная масса колеса $M = 4,96$ кг.

Технические требования к детали, в том числе к точности её размеров и параметрам шероховатости основных поверхностей, основательно проработаны и соответствуют требованиям, предъявляемым к зубчатым колёсам 7-й или 8-й степеней точности. Конструкция заготовки жёсткая. Размещение базового торца ступицы в плоскости венца позволяет при нарезании зубьев фрезами применить достаточно производительную схему последовательной множественной обработки. Две фаски $1 \times 45^\circ$ на торцах ступицы позволяют освободиться от заусенцев, образующихся при подрезке торцов.

Конструкция зубчатого колеса в целом технологична. При разработке единичных рабочих техпроцессов изготовления подобных колёс в условиях серийного или массового производства в качестве информационной основы вполне могут быть использованы типовые технологические процессы производства деталей данного типа.

4.7.3. Выбор способов обработки поверхностей и назначение технологических баз

Каждая деталь может быть представлена в виде совокупности таких элементарных поверхностей, как: плоскости, цилиндры, конусы, торы и пр. Более сложные поверхности: винтовые, шлицевые, зубчатые и другие фасонные встречаются реже. Многолетней практикой установлены типовые способы механической обработки для каждой элементарной поверхности. Выбор того или иного способа определяется

комплексом факторов, среди которых учитывают конфигурацию, габаритные размеры, материал и массу детали; объём выпуска, принятые тип и форму организации производства; имеющиеся в распоряжении оборудование и оснастка и др. К главным факторам относят точность, производительность и рентабельность каждого способа. Например, получить плоскую поверхность небольшой площади с примерно одинаковым качеством на детали из чугуна можно цилиндрическим (встречным и попутным) и торцовым фрезерованием; точением, строганием и протягиванием; шабрением; периферийным, торцовым или ленточным шлифованием и т.д. Выбор способа тесно связан ещё и со стадией (этапом) процесса обработки. Обдирочная, предварительная (черновая), промежуточная (чистовая) и окончательная (отделочная, тонкая) обработки одной и той же поверхности, чаще выполняются разными способами. Например, отверстие вначале подвергается черновому и чистовому зенкерованию, а затем развёртыванию или шлифованию (после термообработки).

Описание различных способов механической обработки поверхностей заготовок дано выше. Выбор конкретного метода обработки производят с помощью таблиц средней экономической точности различных способов обработки, публикуемых в справочных изданиях. Пользуясь профессиональными знаниями и справочной литературой, конструктор перед составлением техпроцесса изготовления детали намечает рациональные способы обработки каждой из её поверхностей.

Параллельно с выбором метода обработки конкретной поверхности решаются вопросы базирования и закрепления заготовки на станке или в приспособлении.

В условиях единичного и мелкосерийного производства часто используют проверочные базы. Положение заготовки на станке определяют с помощью разметки и выверки, а для закрепления широко используют ручные механические зажимы.

В серийном и массовом производстве в основном пользуются контактными (установочными) и настроечными базами.

Контактные базы заготовки всегда соприкасаются с опорами приспособлений. Настроечные базы при выполнении технологической операции образуются за один установ вместе с другими обрабатываемыми поверхностями. Их особенно эффективно используют при многоинструментальной обработке на станках-автоматах и полуавтоматах, в автоматических линиях и пр. В таких случаях для закрепления заготовки чаще применяют пневматические, гидравлические и прочие высокопроизводительные зажимные устройства, обеспечивающие надёжное закрепление заготовок с постоянными усилиями зажима. Все обрабатываемые поверхности связаны с технологическими базами непосредственными размерами.

Совмещение технологических баз с конструкторскими и измерительными позволяет исключить погрешность базирования и выполнить размеры с использованием полного поля допуска, установленного конструктором. В целях уменьшения погрешностей в расположении поверхностей следует в качестве баз на всех операциях по возможности использовать одни и те же поверхности.

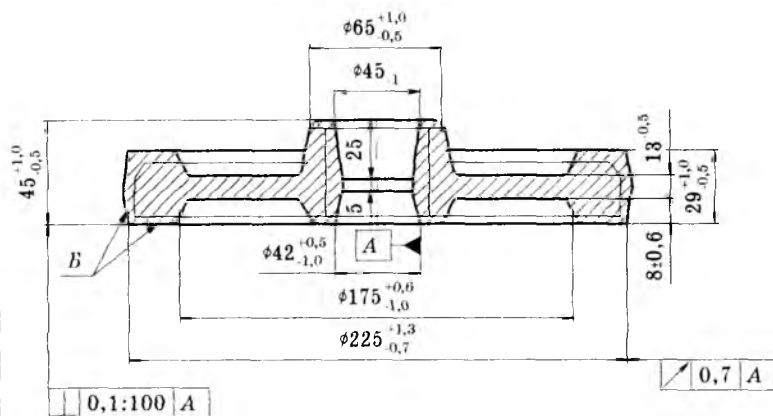
При несоблюдении принципов совмещения и постоянства баз конструктором обязательно выполняется размерный анализ, т.е. производится пересчёт выполняемых размеров и назначаются на них технологические допуски.

В качестве баз выбираются поверхности простейшей геометрической формы: плоскости, цилиндры и пр. При отсутствии на заготовке поверхностей, удобных для базирования, базы создают искусственно.

Назначение технологических баз в каждом случае производят одновременно с определением способа обработки поверхностей. С учётом выбранных способов обработки в дальнейшем проектируют маршрут выполнения технологических операций. Здесь в качестве примера рассматривается назначение технологических баз и выбор способов обработки всех поверхностей заготовки по чертежу детали (рис. 4.51) в условиях серийного производства. Чертёж заготовки детали дан на рисунке 4.52.

ТВС 1Н61-02-116з

√ Rz 240



1. Твёрдость HB 210...235.
2. Штамповка Т4 - М2 - С2 - По ГОСТ 7505-89.
3. Штамповочные уклоны: наружные - 5°; внутренние - 7°.
4. Радиусные закругления: наружные - 2-3 мм; внутренние - 3-5 мм.
5. Допускается обезуглероживание и другие отклонения свойств поверхностей от состояния основного материала на глубину 0,2-0,5 мм.
6. Окалину снять, следы облоя зачистить.
7. Поверхности *В* используются в качестве технологических баз.

					ТВС 1Н61-02-116з			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Колесо зубчатое (Заготовка)			
Разраб.								
Пров.					Лит			
Т. контр.								
Н. контр.					Лист			
Утв.					Листов			
					Круг 100-125 ГОСТ 2590-88			
					Сталь 40Х ГОСТ 4543-71			
					Лит			
					Масса			
					Масштаб			
					Т П			
					6,42			
					1:2			
					БГТУ			
					Кафедра ТМ и РК			

Рис. 4.52. Чертёж заготовки зубчатого колеса

Для назначения технологических баз составляется эскиз детали (рис. 4.53), на котором все основные поверхности нумеруются цифрами. Производства с серийным выпуском продукции оснащают, в основном, универсальным оборудованием, приспособлениями и пользуются стандартным инструментом.

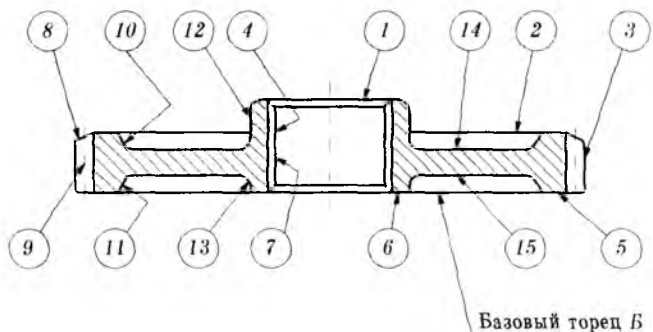


Рис. 4.53. Эскиз зубчатого колеса с нумерацией обрабатываемых поверхностей

В соответствии с чертежом и техническими требованиями на изготовление детали (рис. 4.53) обработке подлежат следующие поверхности: торцы ступицы 1 и 6, торцы венца 2 и 5, наружная поверхность венца 3, отверстие в ступице 4, шлицевая поверхность отверстия 7, скос на венце 8, зубчатая поверхность 9, а также внутренние и наружные фаски на торцах ступицы. Внутренние поверхности венца 10 и 11, наружные ступицы 12 и 13, поверхности реборды 14 и 15 механической обработке не подвергаются.

Обработку шлицев 7 в отверстии ступицы можно осуществить долблением, протягиванием, а расточку под протягивание предварительную и чистовую — резцом или зенкером. Зенкерование более производительно. Окончательную обработку зубьев 9 после закалки венца ТВЧ следует выполнить шлифованием, а нарезание зубьев — зубофрезерованием. Наружную поверхность 3 и торцы венца 2 и 5 после закалки в целях очистки от окалины и достижения

точности следует шлифовать на круглошлифовальном станке. Предварительную и окончательную обработки всех других поверхностей можно производить точением. Таким образом, с учётом рассуждений, предварительно имеем следующие схемы (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Способы обработки поверхностей и технологические базы

Номера и наименование обрабатываемых поверхностей	Вид механической обработки	Номер базовой поверхности	Количество лишённых степеней свободы
1 – торец ступицы	Точение предварительное	5 и 3	5
2 – торец венца	Точение предварительное	5 и 3	5
3 – отверстие в ступице	Зенкерование черновое	5 и 3	5
4 – наружная поверхность венца	Точение предварительное	5 и 3	5
5 – торец венца	Точение предварительное	2 и 3	5
6 – торец ступицы	Точение предварительное	2 и 3	5
4 – отверстие в ступице	Зенкерование чистовое	2 и 3	5
7 – шлицевое отверстие	Протягивание шлицев	5 и 7	6
1, 2, 3, 5, 6 и 8 – скос	Точение чистовое (с ЧПУ)	5 и 7	6
9 – зубчатая поверхность	Зубофрезерование	5 и 7	6
9 – зубчатая поверхность	Зубошлифование после ТВЧ	5 и 7	6
1, 2, 3, 5 и 6	Круглое шлифование	3 и 7	5

4.7.4. Выбор металлорежущего оборудования

При выполнении технологической операции выбранное оборудование должно обеспечить точность обработки, заданное качество обработанных поверхностей и выполнение других технических требований к изготавливаемой детали, производительность обработки, обеспечивающую заданную

программу выпуска в условиях принятого типа производства (в поточно-массовом производстве — с учётом такта выпуска), наименьшую технологическую себестоимость детали, т.е. максимальную экономичность и эффективность.

Строгое соблюдение первых трёх условий гарантирует заданное качество детали. Планировать выполнение операции на станке, не обеспечивающем хотя бы одно из требований к детали, недопустимо и тождественно заведомому планированию брака в обработке.

Выбирая тип станка, учитывают следующие факторы:

- соответствие основных габаритных размеров станка размерам обрабатываемых деталей;
- возможность работы на оптимальных режимах резания;
- соответствие мощности и прочности механизмов станка выбранным режимам обработки;
- необходимость использования имеющегося парка станков и возможность приобретения нового;
- возможность механизации и автоматизации обработки, наличие простоты в обслуживании и другие факторы.

Выбор оборудования производится при разработке маршрута обработки детали, когда исходными данными для выбора служат такие факторы, как:

- чертёж и технические требования к детали;
- тип производства;
- годовая программа выпуска;
- принятые способы обработки поверхностей;
- желаемая степень механизации и автоматизации и др.

Выбирают станки, пользуясь паспортными данными, сведениями из справочной литературы и каталогов металлорезающего оборудования и др. При выборе оборудования ориентируются, прежде всего, на новейшие серийно-выпускаемые модели отечественного производства (в том числе на станки с ЧПУ), обрабатывающие центры, робототехнические комплексы и др. Для крупносерийного и массового производства в целях повышения производительности и

качества обработки следует рассмотреть вопросы использования специальных и специализированных станков.

Обычно обосновывают выбор моделей 1-2 станков, проверяют их загрузку по времени и мощности. При низкой загрузке, недостаточной (или излишней) мощности при высокой технологической себестоимости обработки, подбирают другие станки, позволяющие получить лучшие технико-экономические показатели. Эта работа проводится при расчётах режимов обработки, техническом нормировании и экономической оценке вариантов проектируемых операций.

Примечания:

1. Нецелесообразно проектировать обработку деталей на устаревших или снятых с производства моделях станков, например, таких, как 1А62, 1К62, 2А125 и др.
2. В каталогах и другой технической литературе в технических характеристиках моделей станков часто указывают общее количество частот вращения и их предельные значения $n_{\min}$ и $n_{\max}$ (или подач $S_{\min}$ и $S_{\max}$). В таких случаях определяют промежуточные (i -е) значения частот вращения (или подач) $n_i = n_{\min} \cdot \varphi^{i-1}$, причём знаменатель геометрической прогрессии ряда $\varphi = \sqrt[m]{n_{\max}/n_{\min}}$.

4.7.5. Разработка технологического маршрута

Как правило, составление технологических маршрутов обработки деталей осуществляется без подробного рассмотрения отдельных технологических операций. Для приобретения опыта проектирования сложных технологических процессов с разработкой циклограмм параллельных операций на многошпиндельных автоматах и полуавтоматах удобно начинать разработку единичного технологического процесса с маршрутно-операционным описанием.

Маршрут представляет собой последовательность (порядок) обработки заготовки. Разработка технологического

маршрута может вестись для обработки отдельных поверхностей и для обработки заготовки в целом. В первом случае по заданному качеству точности и шероховатости данной поверхности и с учётом размера, формы, материала и массы детали выбирают наиболее рациональный способ окончательной обработки. Зная вид заготовки, таким же образом выбирают начальный метод маршрута. Основываясь на завершающий и начальный методы обработки заготовки, устанавливают промежуточные. При этом придерживаются следующего правила: каждый последующий способ обработки должен быть точнее предыдущего. Это значит, что каждая очередная операция, переход или рабочий ход должны выполняться с меньшим технологическим допуском, обеспечивать повышение качества и снижение шероховатости обрабатываемой поверхности.

Технологический допуск на промежуточный размер и качество поверхности, полученные на предшествующем этапе обработки, должны находиться в пределах величин, при которых возможно использование назначенного последующего способа обработки. Нельзя, например, после сверления выполнять чистовое развёртывание, так как остающийся после сверления минимальный припуск, будет слишком велик для чистового развёртывания. Следует после сверления, перед чистовым развёртыванием, применить зенкерование или черновое развёртывание и т.д. Из большого числа возможных вариантов выбирают маршрут, обеспечивающий наименьшую трудоёмкость и минимальную суммарную себестоимость обработки.

При разработке технологического маршрута обработки заготовки главной задачей является формулировка содержания каждой технологической операции и составление общего плана (последовательности) их выполнения. От логического порядка выполнения операций во многом зависят качество, производительность и экономичность обработки заготовки. При решении этой задачи следуют общим указаниям:

- сначала обрабатывают поверхности, служащие в дальнейшем технологическими базами;
- затем обрабатывают поверхности, с которых снимается наибольший слой металла, что позволяет своевременно обнаруживать и устранять внутренние дефекты в заготовках, а также снять внутренние напряжения;
- обработка остальных поверхностей ведётся в последовательности, обратной степени их точности;
- заканчивают обработку тех поверхностей, которые являются наиболее точными и наиболее важными для нормального функционирования детали;
- вспомогательные операции (сверление мелких отверстий, снятие фасок, прорезка канавок, галтелей, зачистка заусенцев и т.п.) выполняют на стадии чистой обработки;
- такие отделочные операции как шлифование, хонингование, притирка, прикатка и другие, выполняют в последнюю очередь, обычно после термической, химико-термической и других немеханических операций, которые делают, как правило, весь технологический процесс на части;
- технический контроль проводят после тех операций, выполнение которых связано с большой вероятностью появления брака, после сложных дорогостоящих операций в конце полного цикла обработки заготовки, а также после полной обработки деталей.

Разрабатывая маршрут обработки детали, одновременно производят предварительное включение технологических операций без подробной проработки их содержания (эскизный вариант маршрута). Рекомендуется при разработке операций на данном этапе ограничиться эскизами, в которых красными (или жирными) линиями выделяют поверхности, подлежащие обработке без нанесения размеров. Кроме того, символами ЕСТД указывают технологические базы, с использованием возможности совмещения их с конструкторскими и измерительными.

Для выполнения каждой операции подбирают оборудование (модель станка), оснастку и оговаривают прочие условия обработки. В условиях массового производства применяют высокопроизводительные станки-полуавтоматы и автоматы, агрегатные станки и автоматические линии. Для сокращения вспомогательного времени станочные приспособления снабжают быстродействующими зажимными механизмами; многоинструментальные наладки комплектуют наряду со стандартным и специальным режущим инструментом повышенной стойкости; автоматизируют вспомогательные операции, такие, как загрузка-разгрузка, перемещение обрабатываемых заготовок от станка к станку, технический контроль и др.

Технологические процессы серийных производств оснащают, как правило, универсальным оборудованием, в том числе станками с ЧПУ, и стандартной оснасткой. Применяют универсальные и групповые приспособления. При перемменно-поточной форме организации производства применяют автоматизированные линии с использованием манипуляторов и промышленных роботов, управляемых ЭВМ.

В общем случае при выборе оборудования и оснастки руководствуются рекомендациями, приводимыми в новейшей справочной литературе.

Изложенная методика построения технологического маршрута не является обязательной и требует творческого подхода в каждом конкретном случае. Каждый раз при разработке маршрута следует ориентироваться на типовые технологические процессы обработки деталей данного класса, с успехом используемые в различных отраслях машиностроения и подробно описанные в технической литературе.

После окончания разработки технологического маршрута переходят к детальной разработке технологических операций.

В таблице 4.5 представлен укрупнённый (эскизный) технологический маршрут изготовления зубчатого колеса (рис. 4.51) в условиях серийного производства. Эскизы к операциям представлены на рисунке 4.54.

Таблица 4.5

**Укрупнённый технологический маршрут
изготовления зубчатого колеса**

Номер операции	Содержание операции	Оборудование
05	Токарная обработка торцов (базового и противобазового) ступицы и венца, периферии заготовки по наружному диаметру, предварительное и чистовое зенкерование отверстия в ступице, снятие фасок за два установа	Токарный вертикальный восьмипиндельный полуавтомат мод. 1К282
10	Протягивание шлицевого отверстия в ступице шлицевой протяжкой	Протяжной вертикальный станок для внутреннего протягивания мод. 7Б65
15	Зачистка заусенцев на шлицевом отверстии (опиловочная операция)	Слесарный верстак, специализированный электропильник
20	Чистовая токарная обработка торцов (базового и противобазового) ступицы и венца, периферии по наружному диаметру	Токарный станок с ЧПУ мод. 16К20ФЗ
25	Нарезание зубьев $m = 2,5$ мм с припуском под шлифование величиной $0,1 \dots 0,2$ мм на сторону	Зубофрезерный вертикальный полуавтомат мод. 5В312
30	Зубозакругление	Полуавтомат зубозакругляющий мод. 5Е580
35	Термическая закалка венца ТВЧ	Закалочное устройство с индуктором ТВЧ
40	Шлифование по наружному диаметру венца и базовому торцу	Круглошлифовальный универсальный станок мод. 3Т160
45	Шлифование зубьев на центральной оправке (предварительное и окончательное)	Зубошлифовальный станок мод. 5В833
50	При установке проверять биения торца и венца	Магнитная индикаторная стойка

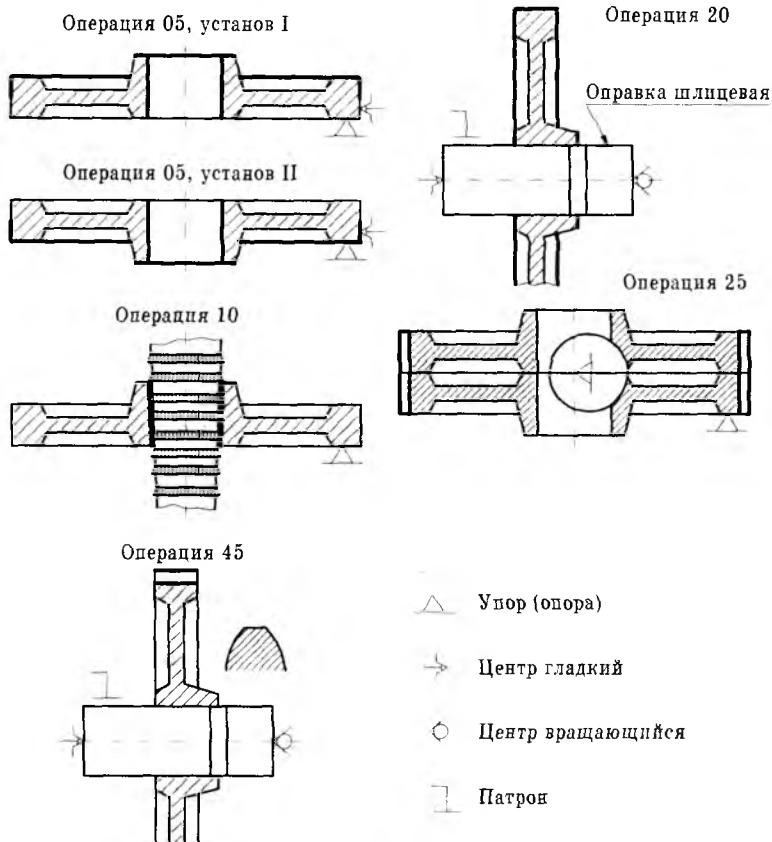


Рис. 4.54. Эскизы базирования заготовки при различных операциях

Производство различных типов зубчатых колёс хорошо отработано. Типовые технологические процессы деталей данного типа приводятся в различной справочной литературе. Их анализ показывает, что после выполнения заготовительных операций механическую обработку выполняют, как правило, в следующей последовательности: первоначально осуществляют предварительную обработку заготовки по всем поверхностям; затем про-

изводят чистовую и окончательную обработки отверстия в ступице (в том числе нарезание шлицев или шпоночных пазов), используемого в дальнейшем в качестве технологической базы для нарезания зубьев, чистовой и окончательной обработки остальных поверхностей. Для выполнения этих операций заготовку устанавливают на оправку. Соблюдается принцип совмещения технологической базы с конструкторской, что облегчает выполнение финишных операций и способствует повышению их точности.

С учётом рекомендаций из справочной литературы и с учётом принятых способов обработки поверхностей составленный эскизный вариант маршрута обработки детали выглядит так, как представлен в таблице 4.5. Маршрут включает в себя 8 основных механических операций: операция 05 — токарная (схема обработки — одноместная, многоинструментальная); операция 10 — шлицепротяжная (схема операции одноместная, одноинструментальная, наиболее рациональная из возможных); операция 20 — токарная (схема обработки — одноместная, многоинструментальная), чистовая обработка всех поверхностей, включая скос на венце, ведётся по программе на станке с ЧПУ; операция 25 — зубофрезерная (схема обработки двухместная, одноинструментальная), обеспечивает необходимую точность при максимальной производительности и т.д. Заканчивают обработку шлифованием по наружному диаметру и торцам венца (операция 40) и шлифованием зубьев шестерни (операция 50, 55) после их термической обработки на установке ТВЧ. Далее следует моечная, контрольная и другие вспомогательные операции.

Для выполнения каждой механической операции по справочникам предварительно подобраны современные, наиболее производительные станки отечественного производства. Подробный технологический маршрут излагается на стандартизованных картах технологического процесса (КТП).

4.7.6. Разработка технологических операций

Технологическая операция — это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте (ГОСТ 3.1109-82). При обработке на станках операция включает все действия рабочего, управляющего станком, а также автоматические движения станка, осуществляемые в процессе обработки заготовки до момента снятия её со станка и перехода к обработке другой заготовки.

После составления маршрута обработки приступают к детальной проработке каждой технологической операции. Содержание операции часто определяется количеством переходов, которые могут быть выполнены на выбранном типе станка, при этом стремятся добиться сокращения трудоёмкости, повышения производительности и экономичности. Начинают с построения схемы. Для массового производства предпочтительны многоинструментальные операции с параллельной или параллельно-последовательной обработкой поверхностей, с непрерывной или раздельной загрузкой заготовок, обеспечивающей наивысшую производительность за счёт многократного взаимного перекрытия основного и вспомогательного времени. В то же время значительная концентрация операций (значительное увеличение числа переходов) с использованием большого количества инструментов в наладке, может привести к снижению общей производительности за счёт простоев, связанных с частой заменой и подналадкой инструментов.

В массовом производстве длительность операции зависит от её содержания. Она должна быть равна или кратна такту выпуска деталей.

Для серийного производства чаще проектируют одноместные, одно- и многоинструментальные операции с последовательной обработкой поверхностей.

В условиях единичного и мелкосерийного производства тяжёлого машиностроения тенденция к проектированию высококонцентрированных операций связана со значитель-

ными потерями времени, возникающими при частых перестановках крупногабаритных заготовок со станка на станок и их выверках.

Кроме изложенных причин на степень концентрации операций оказывают влияние: конструкция заготовки, взаимное расположение обрабатываемых поверхностей, величина промежуточных припусков, конструкции применяемых инструментов и другие факторы. Низкая жёсткость заготовки может служить причиной, например, отказа от проведения параллельной обработки несколькими инструментами. Обработку с высокими требованиями к точности и к параметрам шероховатости поверхностей часто выделяют в самостоятельную отделочную (финишную) операцию, выполняемую на станках повышенной точности.

Формальными показателями количественной характеристики схем построения операций служат коэффициенты совмещения основного ($K_{с.о}$) и оперативного ($K_{с.оп}$) времени, значения которых определяют при техническом нормировании всей операции.

Построив схему, подбирают режущий инструмент и режимы обработки, необходимые для эффективного выполнения операции на выбранной модели станка. Инструмент должен обеспечить наибольшую производительность, требуемую точность и шероховатость поверхности, а также обеспечить целесообразное использование технических возможностей оборудования.

Алмазы и минералокерамические твёрдые сплавы обеспечивают наивысшую производительность при окончательной отделочной обработке. Кобальтотитановольфрамкарбидные твёрдые сплавы применяют при обработке сталей на сравнительно умеренных режимах резания. При обработке сталей с толчками, с вибрациями и при обработке чугуна лучшие результаты дают кобальтовольфрамкарбидные сплавы. Быстрорежущие и инструментальные стали используют для изготовления фасонного инструмента и в тех случаях, когда из-за малой мощности привода станка

или небольшой частоты вращения шпинделя станка невозможно использовать свойства твёрдых сплавов.

В случаях отсутствия возможности или низкой эффективности использования стандартного инструмента изготавливают для применения специальный инструмент, который, как правило, обходится дороже. Для принятого вида инструмента и, в первую очередь, для многоинструментальной обработки составляют план-схему размещения инструментов в инструментальных блоках, в шпинделях и револьверных головках, в суппортах и т.д. Затем выполняют расчёт таких режимов резания, которые должны обеспечить согласованную работу всех инструментов.

Проектирование операций завершают разработкой схемы контроля и выбором необходимых контрольно-измерительных средств. Каждая технологическая операция должна выполняться с соблюдением требований специально составленной или утверждённой ранее инструкции по охране труда (ИОТ).

Для примера поучительно рассмотреть разработку технологической операции 05 для разработанного ранее технологического маршрута обработки заготовки зубчатого колеса (табл. 4.5). Здесь следует спроектировать (подобрать) производительный и эффективный вариант предварительной токарной обработки всех наружных поверхностей заготовки и рациональный способ расточки отверстия в ступице для последующего нарезания шлицев.

Эффективность назначенных операций маршрута, таких как: 10 — шлицепротяжная, 25 — зубофрезерная, 30 — зубозакругляющая, очевидна, так как для этих операций подобраны специальные высокопроизводительные станки. Большой интерес представляет операция 05 — токарная, на которой согласно технологическому маршруту (табл. 4.5) следует предварительно обточить все поверхности заготовки, а отверстия в ступице — обработать ещё и окончательно.

Предварительную обработку поверхностей с оставлением небольших припусков (по 0,3 мм на сторону) для чисто-

вой обработки, целесообразно выполнить точением. При этом будут легко достигнуты точность размеров, соответствующая 12 качеству, и шероховатость поверхностей в пределах $Ra = 10...6,3$ мкм. Для обработки отверстия в ступице диаметром 46H11 (рис. 4.51) подходит двукратное зенкерование, которое обеспечит заданную точность размера и шероховатость поверхности.

С учётом серийности производства деталей операции можно выполнять на универсальном токарно-винторезном станке мод. 16K20 в два установка с последовательной обработкой каждой наружной поверхности соответствующим инструментом (резцом) и попеременной установкой в пиноль задней бабки зенкеров для предварительной и окончательной обработки отверстия.

Можно обрабатывать заготовки на токарно-револьверном станке мод. 1K341 в два установка с параллельно-последовательной обработкой отдельных поверхностей. Такие станки широко используются на предприятиях с серийным выпуском продукции. Для выполнения этой операции в технологический процесс включён восьмишпиндельный вертикальный токарный полуавтомат мод. 1K282, который из-за высокой производительности чаще применяют в крупносерийном производстве. Этот станок позволяет вести обработку одновременно на шести позициях (первая и вторая позиции загрузочные), сразу большим числом различных инструментов. Вычертим технологические эскизы с выделением обрабатываемых поверхностей и указанием опор и зажимных устройств. Операция включает 12 переходов. На позиции I заготовка устанавливается в патрон, базируясь на необработанные поверхности 3 и 5. Переходы 1 и 2, подрезка торца ступицы 1 и торца венца 2 проходными резцами осуществляется на позиции III (рис. 4.55).

Переходы 3 и 4 — точение наружной поверхности венца 3 проходным резцом и предварительное зенкерование отверстия в ступице 4 производят на позиции V.

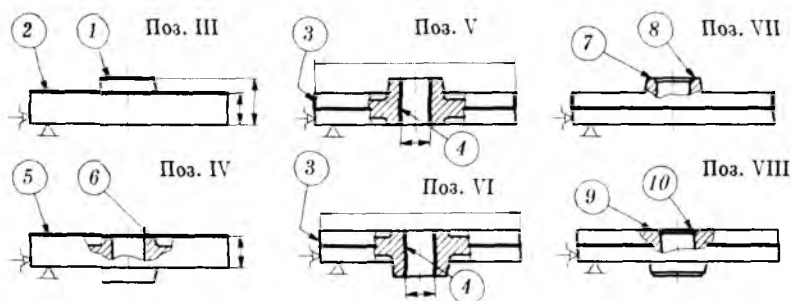


Рис. 4.55. Базирование и распределение переходов по позициям

На позиции VII снимаются фаски 7 и 8 фасонными резцами — переходы 5 и 6.

Далее позиция I после перестановки заготовки в патрон сменяется позицией II с базированием по обработанным поверхностям 2 и 3.

Переходы 7 и 8 (подрезка торца венца 5 и торца ступицы 6 проходными резцами) выполняются на позиции IV.

Переходы 9 и 10 (обработка периферийной части венца 3 проходным резцом и чистовое зенкерование отверстия 4) производят на позиции VI. На позиции VIII обтачиваются наружная 9 и внутренняя 10 фаски на другом торце ступицы, эта обработка включает переходы 11 и 12. Обработка за один установ базового торца колеса и чистовое зенкерование отверстия в ступице позволяют обеспечить перпендикулярность между плоскостью торца и осью отверстия в ступице. При данной схеме обработки многократно взаимно перекрывается основное время. Вспомогательное время, связанное с установкой, закреплением, откреплением и перестановкой заготовок, полностью исключается, так как перекрывается временем обработки. Таким образом, имеет место высококонцентрированная операция с параллельно-последовательной обработкой всех поверхностей.

Целесообразность построения операции 05 в таком варианте следует подтвердить экономическими расчётами пос-

ле назначения режимов резания и технического нормирования. В заключение на стандартных технологических картах и в соответствии с правилами ЕСТД составляют подробное операционное описание, которое вместе с технологическим маршрутом является неотъемлемой частью технологической документации.

4.8. Контрольные вопросы

1. Какие виды слесарных работ применяются при обработке заготовок?
2. В чём состоит сущность рубки и применяемого инструмента?
3. Какие приёмы применяются при правке листового материала?
4. Какие особенности существуют при шабрении плоскости?
5. Каким образом оценивается качество шабренной поверхности?
6. Каким образом классифицируются металлообрабатывающие станки?
7. Что представляет собой кинематическая схема станка?
8. Какие бывают сверлильные станки?
9. Какие бывают токарные станки?
10. Как устроен токарно-винторезный станок?
11. Какие бывают фрезерные станки?
12. Какие бывают шлифовальные станки?
13. Какие бывают протяжные станки?
14. Какими плоскостями или поверхностями получают режущие кромки резца?
15. Как получают при заточке резца углы резания?
16. Какие углы относятся к главным углам резца, и какое у них определение?
17. Какие углы резца относятся к углам в плане и какое у них определение?
18. Как определяют угол наклона режущей кромки, и на что он влияет при резании?

19. Какие координатные плоскости и поверхности применяют для измерения углов резца?
20. Какие особенности процесса резания при точении?
21. Какие особенности процесса резания при фрезеровании?
22. Какие особенности процесса резания при обработке отверстий?
23. Какие особенности процесса резания при шлифовании?
24. Какие резцы применяются при точении?
25. Какие фрезы применяются при фрезеровании?
26. Каким образом классифицируется шлифовальный инструмент?
27. Что представляет собой технологическая наладка?
28. Что понимают под режимом резания?
29. Каким образом определяют усилие и мощность резания при проведении станочных работ?
30. Что представляет собой технологический процесс и технологическая операция?
31. Какую роль играет чертёж детали при проектировании технологического процесса?
32. В чём состоит цель проектирования технологического процесса?
33. Каким образом осуществляется выбор оборудования при проектировании технологического процесса и чем он обосновывается?
34. Что представляет собой технологический маршрут обработки заготовки и каковы особенности его разработки?
35. Какие базы различают при проектировании технологического процесса?

Раздел 2

НЕМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

ГЛАВА 5. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

5.1. Электрохимическая обработка в стационарном и проточном электролите

5.1.1. Общие сведения

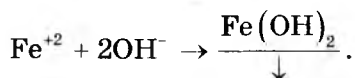
Электрохимическими называются методы обработки металлов, основанные на использовании явления анодного растворения металла, т.е. явления, возникающего на поверхности обрабатываемого материала, включённого в цепь постоянного электрического тока в качестве положительного электрода — анода и помещённого в раствор электролита, через который пропускают этот ток. Процесс анодного растворения заключается в переходе металла, помещённого в электролитическую ванну в качестве анода, из металлического состояния в различные неметаллические соединения (соли, гидроокиси, окислы). Этот процесс протекает на границе раздела фаз «металл-электролит» в форме электрохимических реакций окисления и восстановления ионов.

В электролитах молекулы вещества распадаются на электрически заряженные частицы — ионы, каждый из которых переносит один или несколько электрических зарядов. Число положительных и отрицательных зарядов, переносимых ионами, одинаково, и поэтому в целом электролит электрически нейтрален. Например, молекула хлористого натрия, растворяясь в воде, распадается на катион натрия Na^+ и анион хлора Cl^- , кроме того, вода содержит ионы водорода H^+ и гидроокиси OH^- . Если к электродам, погруженным

в этот раствор, приложить разность потенциалов, то анионы гидроокиси OH^- и хлора Cl^- будут двигаться к аноду, а катионы водорода H^+ и натрия Na^+ — в сторону катода.

Электрическая цепь (источник питания — электрод (один) — электролит — электрод (другой) — источник питания) при этом замкнётся, и источник питания будет перемещать электроны по внешней цепи. Ионы металла Me будут переходить в раствор. Для железа, например, это можно записать следующим образом: $\text{Fe} - 2e \rightarrow \text{Fe}^{+2}$.

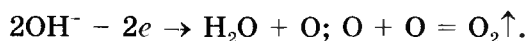
Образующийся ион металла Me связывается с ионом гидроокиси OH^- , образуя гидрат окиси металла $\text{Me}(\text{OH})_n$, который плохо растворяется в воде и выпадает в осадок



Ионы водорода H^+ разряжаются на катоде, образуя атомы водорода, которые в виде пузырьков уходят из раствора:



Кроме указанных основных электродных реакций, возможны и другие побочные. Например, выделение газообразного кислорода на аноде



Содержащиеся в растворе ионы хлора и натрия переносят электрические заряды, их присутствие может вызвать или образование щёлочи NaOH и хлористого железа FeCl , или выделение газообразного хлора Cl_2 на аноде.

5.1.2. Классификация операций электрохимической обработки

Операции электрохимической обработки, осуществляемые по одному и тому же принципу, по существующей классификации могут быть разделены на две группы, различные по технике проведения и результатам:

- 1) при невысокой плотности тока в стационарном электролите;
- 2) при высокой плотности тока в проточном электролите (анодно-гидравлическая обработка).

Электрохимическую обработку в стационарном электролите делят на полирование, профилирование (копирование), заострение (затачивание), доводку.

Электрохимическую обработку в проточном электролите подразделяют на профилирование (копирование), резание, прошивание, протягивание и калибрование. При электрохимической обработке с высокой плотностью тока необходимо интенсивное удаление из зоны обработки продуктов анодного растворения. Последняя может осуществляться одним из трёх способов:

- проточным электролитом, прокачиваемым под давлением через зону обработки;
- механическим, электроэрозионным и ультразвуковым воздействием на обрабатываемую поверхность;
- механическим удалением шлифовальным диском, хонами или абразивными частицами, свободно находящимися в электролите.

На рисунке 5.1 показана принципиальная схема электрохимической обработки в стационарном электролите для наиболее типичной операции — электролитического шлифования или полирования. Электрический ток, проходя через электролит 3 и электроды 8 и 5, вызывает растворение поверхности анода 5 в электролите и образование продуктов растворения 6, которые, задерживаясь в углублениях шероховатости поверхности, изолируют последние от прохождения тока, сосредоточивая его силовые линии на незащищённых участках поверхности анода. Происходит быстрое растворение выступов, и поверхность анода сглаживается.

Электрополирование имеет многообразное применение. Оно применяется для полирования турбинных лопаток из легированных и труднообрабатываемых сплавов, для обработки зубьев зубчатых колёс, наружного и внутреннего по-

лирования труб из легированных сталей и специальных сплавов. Наилучшее качество поверхности достигается при электрополировании чистых и однородных металлов и сплавов. При полировании турбинных лопаток происходит удаление поверхностно-напряжённых слоёв металла после механической обработки, повышение коррозионной стойкости и уменьшение шероховатости поверхности. Применяемый способ ведёт к уменьшению трудоёмкости операции в сравнении с применявшейся ранее механической обработкой. Обработка электрополированием зубьев зубчатых колёс способствует ускорению приработки зубьев и повышению полноты их контакта, удалению дефектного поверхностного слоя, снижению трудоёмкости операции. Электрополирование внутренних поверхностей труб ведёт к улучшению качества поверхности и снижению трудоёмкости процесса обработки заготовок.

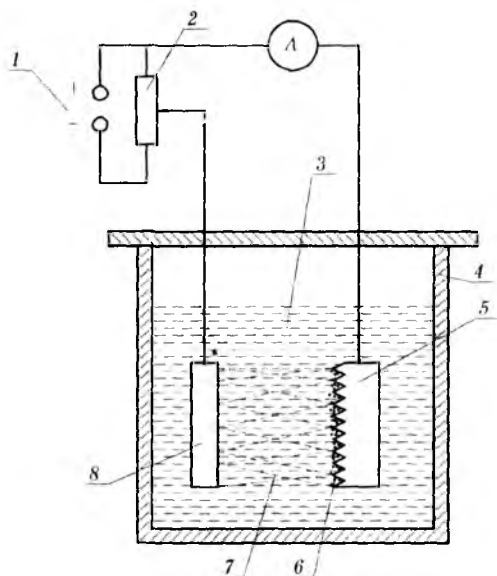


Рис. 5.1. Схема электрохимической обработки в стационарном электролите:

**1 — источник тока; 2 — резистор; 3 — электролит;
4 — ванна; 5 — заготовка; 6 — плёнка продуктов растворения;
7 — силовые линии тока; 8 — катод**

Процесс профилирования осуществляется за счёт анодного растворения заготовки, помещённой внутрь полого цилиндрического катода. Растворение происходит интенсивнее на участках, более близких к катоду, результатом чего является изменение формы, в данном случае округление заготовки. В качестве электролитов применяют растворы кислот и солей.

Заострение и затачивание режущего инструмента осуществляют за счёт создания на кромке лезвия повышенной плотности тока, что обеспечивается соответствующим расположением лезвия инструмента относительно катода. Характер заострения зависит также от первоначального угла заточки. Электролитом являются растворы кислот.

Доводку электрохимическим методом при стационарном электролите используют для обработки поверхностей штампов, пресс-форм и литейных форм после электроэрозионной обработки. При затачивании и доводке можно получить точность с отклонением размера до 0,1 мм при высоте микронеровностей обработанных поверхностей $Ra = 0,32 \dots 0,63$ мкм.

Достоинства электрохимической обработки в стационарном электролите состоят в возможности получения поверхностей с малой высотой микронеровностей, отсутствием необходимости применения специального инструмента. Недостатками являются невысокая удельная производительность, чувствительность к изменению состава электролита и его состояния, проявляющаяся в нарушении стабильности процесса, заметное влияние неоднородности структуры заготовки на процесс обработки.

5.2. Анодно-гидравлическая обработка

5.2.1. Общие сведения

При анодно-гидравлической обработке применяют токи высокой плотности. Локализация процесса обработки обеспечивается конструкцией инструмента и созданием малых

межэлектродных зазоров. Образующиеся при электролизе продукты растворения удаляются из межэлектродного промежутка потоком электролита. На рисунке 5.2 дана принципиальная схема электрохимической обработки в проточном электролите. Ток, проходя между катодом-инструментом 3 и анодом-заготовкой 1, вызывает растворение поверхности анода, в результате чего в нём воспроизводится профиль катода-инструмента в виде углубления 4, повторяющего выпуклые формы электрода-катода. В начале процесса отдельные участки катода 3 располагаются значительно ближе к заготовке-аноду 1, и через них за счёт меньшего сопротивления электролита 2 проходит ток большей величины. В результате находящиеся здесь участки заготовки подвергаются анодному разрушению быстрее.

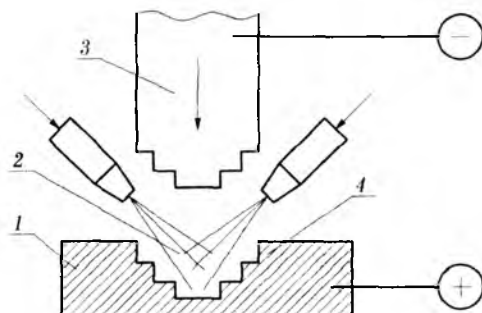


Рис. 5.2. Схема электрохимической обработки в проточном электролите:

**1 — заготовка (анод); 2 — проточный электролит;
3 — профилированный катод; 4 — фасонное углубление**

Электрический ток проходит и по другим участкам, но за счёт меньшей плотности тока на этих участках анодное растворение металла протекает со значительно меньшей интенсивностью, чем на участках с большей плотностью тока.

В конце обработки, когда форма анода будет соответствовать форме катода, плотность тока выравнивается по всей поверхности. В реальных условиях процесс анодного растворения протекает значительно сложнее, чем представ-

ляется теоретически, поэтому при обработке заготовки имеет место всё-таки неравномерный съём металла. В реальных условиях форма рабочей части электрода-катода представляет собой откорректированный профиль обрабатываемого элемента заготовки, отличающийся от прототипа детали.

Состав электролитов зависит от химического состава обрабатываемого материала. При обработке большинства марок конструкционных сталей применяют водные растворы поваренной соли NaCl с концентрацией соли 10...20 %. Для обработки заготовок из титана используется 25%-й раствор серной кислоты. Для обработки деталей из алюминиевых сплавов иногда применяют растворы, содержащие 10 % поваренной соли и 10 г/л лимонной кислоты. Применяются электролиты и других химических составов, данные о которых приводятся в справочной литературе.

В установках размерной электрохимической обработки применяют однофазные или трёхфазные полупроводниковые выпрямители переменного тока.

К достоинствам электрохимической обработки в проточном электролите относятся:

- высокая производительность, достигающая десятков тысяч кубических миллиметров удаляемого металла в минуту;
- отсутствие износа электрода-инструмента;
- возможность повышения производительности обработки с сохранением или повышением точности обработки и достижением требуемых параметров шероховатости поверхности.

Недостатками электрохимической обработки являются высокая энергоёмкость процесса, необходимость принятия специальных мер для удаления интенсивно выделяющихся осадков гидроокисей и газов, трудность управления процессом при обработке заготовок сложного профиля с высокой точностью, необходимость обеспечения интенсивной циркуляции электролита при обработке и некоторое снижение выхода по току при возрастании плотности тока.

Производительность процесса может характеризоваться интенсивностью анодного растворения металла или скоростью съема металла (мм³/мин) с обрабатываемой поверхности. Скорость съема металла с обрабатываемой поверхности можно рассчитать по формуле:

$$Q_v = 0,1 \frac{\eta K U \chi_{\text{эф}}}{\delta},$$

где K — электрохимический эквивалент, мм³/мин;

U — напряжение на электродах, В;

$\chi_{\text{эф}}$ — эффективная электропроводность (электродного промежутка), Ом⁻¹ · см⁻¹;

δ — межэлектродный зазор, мм;

η — выход по току, % (представляет собой отношение количества фактически растворившегося металла к теоретическому, рассчитанному из предположения, что на аноде происходит лишь одна реакция растворения металла).

Скорость обработки может также оцениваться изменением линейных размеров обрабатываемой поверхности в единицу времени, например в мм/мин или скоростью подачи электродов в единицу времени (мм/мин).

На величину съема, как и на другие технологические показатели, кроме свойств электролита влияют многие факторы электрического и гидродинамического характера, изменяющиеся в широких пределах.

Выбор скорости потока электролита определяется в значительной мере допустимым нагревом его в промежутке. Процесс протекает устойчиво, если перепад температур на входе и выходе электролита не превышает 8...10 °С. Расход электролита при этом должен составлять 200...300 л/мин на каждые 1000 А.

Процесс формообразования при анодно-гидравлической обработке зависит от анодной плотности тока. Предельная плотность тока в межэлектродном промежутке зависит от величины минимального зазора, определяемой условиями удаления гидроокиси металла, температуры электролита и

напряжением электрического пробоя электродного промежутка. При анодно-гидравлической прошивке и обработке поверхностей небольших площадей (до $50...100 \text{ см}^2$) с равномерным припуском минимальный межэлектродный зазор может быть уменьшен до $0,1...0,3 \text{ мм}$. Скорость съёма металла в этом случае достигает $0,5...2 \text{ мм}^3/\text{мин}$. При обработке больших по площади поверхностей ($0,5...2 \text{ м}^2$) с неравномерным по толщине припуском процесс удаления металла ведут при больших величинах межэлектродного зазора ($1...10 \text{ мм}$). Скорость съёма металла в этом случае составляет $0,02...0,2 \text{ мм}^3/\text{мин}$.

Производительность, оцениваемая интенсивностью растворения металла, зависит от количества электричества, затраченного на удаление металла. Выпускаемые источники тока позволяют вместе с устройствами подачи электролита довести интенсивность съёма металла до $15...50 \text{ мм}^3/\text{мин}$ и более или достигнуть скорости подачи электрода до $6...10 \text{ мм}/\text{мин}$.

Точность и качество поверхности после обработки зависят от неточности изготовления станков, инструментов и приспособлений и других факторов, общих для механической и электрохимической технологии. Основной причиной возникновения погрешностей при анодно-гидравлической обработке является изменение электродного зазора под воздействием специфичных для процесса колебаний электрохимического и гидродинамического характера. В начальный момент обработки межэлектродный зазор в различных сечениях определяется исходной неравномерностью поверхности заготовки, поэтому процесс анодного растворения заготовки происходит с различной скоростью. Там, где зазор меньше, а плотность тока выше, съём идёт интенсивнее. Межэлектродный зазор постепенно выравнивается, неровности на обрабатываемой поверхности уменьшаются, достигая к концу обработки некоторой величины Δ_k .

Чем быстрее идёт выравнивание, тем быстрее стабилизируются электрохимические и гидродинамические условия

процесса, тем меньше будут погрешности, переносимые с заготовки на готовую деталь.

При однородном составе электролита и отсутствии концентрационных изменений в межэлектродном промежутке процесс выравнивания профиля сопровождается удалением металла, скорость которого в десятки раз превосходит интенсивность процесса удаления металла, необходимой для удаления оставленного припуска.

Шероховатость поверхности, обработанной анодно-гидравлическим способом, зависит от состава электролита, плотности тока, формы кривой тока и напряжения, скорости потока электролита и его температуры. Состав электролита, его соответствие конкретному материалу заготовки является важнейшим фактором, влияющим на шероховатость поверхности. Наиболее распространённый электролит — это раствор хлористого натрия, который позволяет (при соответствующих параметрах процесса) получить обработанную поверхность с высотой микронеровностей до $Ra = 0,32 \dots 0,64$ мкм. С повышением температуры электролита шероховатость обработанной поверхности увеличивается. С повышением плотности тока шероховатость поверхности уменьшается. Это особенно заметно при изменении плотности тока в пределах от 2 до 8 А/см². Увеличение плотности тока свыше 15 А/см² не даёт заметного снижения шероховатости.

5.2.2. Электрохимическое формообразование

Электрохимическая обработка эффективна при формообразовании заготовок сложной формы. Одним из распространённых видов этой обработки рабочих профильных поверхностей турбинных лопаток (рис. 5.3). Заготовку 2 помещают между двумя латунными копиями — электродами 1, имеющими поверхности, огибающие профиль лопаток с двух сторон. Электродный зазор между обрабатываемыми поверхностями и электродом составляет 0,3...0,5 мм.

Через зазор под давлением 1 МПа прокачивается 10% -й раствор поваренной соли, подаваемый через штуцер 3. Обработка ведётся при напряжении на электродах 8...11 В, плотности тока $150000...200000 \text{ А/м}^2$ и скорости подачи электродов, равной 0,3...0,4 мм/мин. Металл с заготовки удаляется со скоростью подачи электрода с достижением параметра шероховатости поверхности $Ra = 1,25...2,5 \text{ мкм}$.

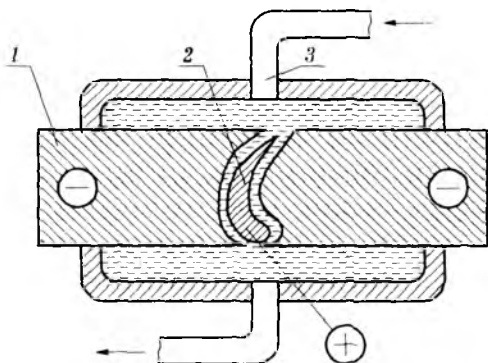


Рис. 5.3. Схема анодно-гидравлической обработки турбинной лопатки:

**1 — электроды (катоды); 2 — заготовка (анод);
3 — штуцеры подвода электролита**

Соотношение максимальной и минимальной толщины удаляемого припуска при неодинаковой скорости съёма металла в разных частях обрабатываемой заготовки не должно превышать 2:1.

В процессе электрохимического формообразования одновременно выявляются дефекты обрабатываемой поверхности, в частности — микротрещины. Таким образом, при электрохимической обработке осуществляется не только формообразование, но и контроль качества, необходимый при обработке ответственных деталей, например турбинных лопаток.

Практика показывает, что электрохимические методы формообразования в 4...10 раз производительнее механической

обработки. Электрохимический метод обработки особенно эффективен при обработке заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов.

5.2.3. Электрохимическое прошивание отверстий

Прошивка отверстий с помощью анодно-гидравлического способа ведётся полым электродом-трубкой, покрытым снаружи тонким изоляционным слоем. В трубку под давлением подают электролит. В общей схеме процесса трубка является катодом, а обрабатываемая заготовка — анодом. Интенсивное анодное растворение металла заготовки под торцом трубки приводит к образованию полости, глубина которой может быть задана произвольно поступательным перемещением трубки с электролитом. Диаметр трубки выбирается обычно меньше, чем диаметр отверстия, примерно на 0,025...0,05 мм. В некоторых случаях разность диаметров отверстия и трубки может составлять 0,2 мм. Электролит, выходящий из трубки, возвращается по зазору между стенками отверстия и трубки, через местную ванну откачивается в систему циркуляции.

Электролитом служит раствор солей, в частности, хлористого натрия. Плотность тока в зависимости от интенсивности прокачки электролита, состава обрабатываемого материала и других факторов находится в пределах 1000000...3000000 А/м² при напряжении 4...12 В. Иногда плотность тока доводят до 6000000 А/м². Скорость углубления обычно находится в диапазоне 1...6 мм/мин. Отверстие может быть любой конфигурации, определяемой профилем сечения инструмента.

В потоке электролита производят обработку шлицев, кольцевых каналов и полостей в трубах, выполняют утонение сферических поверхностей, зубозакругление и т.д.

Электрохимическую обработку применяют для формообразования глубоких точных отверстий. Детали с глубокими и точными отверстиями широко применяют в про-

мышленности. Технологические приёмы механической обработки таких отверстий, как правило, сложны, сопровождаются большими затратами ручного труда и часто дают низкое качество обработанных поверхностей. Здесь, особенно на отделочных операциях, электрохимический метод обработки весьма эффективен.

Размерную электрохимическую обработку глубоких отверстий выполняют с неподвижным или подвижным катодом. Применение неподвижных катодов без осевой подачи имеет следующие недостатки:

- трудность точного центрирования длинного катода;
- необходимость применения фасонного катода для обработки комбинированных ступенчатых отверстий;
- копирование дефектов поверхности катода обрабатываемой поверхностью.

Для повышения качества обработки катоду-инструменту (или заготовке) придают вращение. При значительном различии диаметров заготовки и инструмента применяют схему с эксцентричным расположением неподвижного инструмента при вращении заготовки с частотой $5...20 \text{ мин}^{-1}$. Неподвижные катоды рекомендуется применять при вращении заготовки и в случае обеспечения необходимой жёсткости ($l/d \geq 10$, где l — длина катода, d — диаметр обрабатываемого отверстия).

Применение подвижных катодов уменьшает или исключает недостатки неподвижных катодов. К достоинствам этого вида обработки относятся:

- возможность использования катодов простой формы, например, гладких или ступенчатых с цилиндрическими участками;
- обеспечение необходимого центрирования, что осуществляется применением изолирующих направляющих втулок и пластин;
- практическое исключение копирования дефектов поверхности инструмента на обрабатываемой поверхности.

Для выполнения отверстий высокой точности применяют обработку при малых межэлектродных зазорах (до 0,01 мм) с центральным и эксцентричным расположением инструмента. Эксцентричное расположение инструмента позволяет производить обработку заготовок с диаметром отверстий гораздо большим, чем диаметр применяемого электрода. При осуществлении этого вида обработки применяют следующие варианты схемы:

- 1) инструменту придают вращение с окружной скоростью 5...15 м/с при радиальной подаче до 0,1 мм/мин; частота вращения заготовки составляет 15...20 мин⁻¹;
- 2) инструмент, выполненный в виде усечённого конуса (конусность 2...3°), вращают с окружной скоростью 5...15 м/с и продольно подают со скоростью до 150 мм/мин; частота вращения заготовки составляет 5...60 мин⁻¹; эту схему применяют при обработке отверстий диаметром 50...200 мм;
- 3) инструменту придают только радиальную подачу, а заготовку приводят во вращение с окружной скоростью 5...20 м/с.

Размерная электрохимическая обработка по указанным вариантам имеет следующие достоинства:

- возможность получения высокой точности размеров и низкой шероховатости обработанной поверхности;
- повышение стабильности параметров электрохимического процесса;
- снижение энергоёмкости процесса обработки за счёт уменьшения электрического сопротивления в зазоре между электродом и заготовкой.

Размерная электрохимическая обработка при использовании постоянного тока, как правило, не обеспечивает высокой точности и качества обрабатываемой поверхности. Точность обработки и показатели качества поверхности можно существенно повысить при применении импульсного тока. Длительность импульса составляет $t = 0,002...0,004$ с.

5.3. Электроабразивная и электроалмазная обработка

Особенность электроабразивной обработки состоит в том, что инструментом-электродом является шлифовальный круг, изготовленный из абразивного материала на электропроводящей связке (бакелитовой связке с графитовым наполнителем). Между заготовкой-анодом и шлифовальным кругом-катодом имеется межэлектродный зазор за счёт зёрен, выступающих из связки. В этот зазор подаётся электролит. Шлифовальный круг получает вращательное движение, а заготовка возвратно-поступательное, т.е. движения, соответствующие процессу механического шлифования. Продукты анодного растворения материала заготовки удаляются абразивными зёрнами.

При электроабразивной обработке около 85...90 % припуска удаляется за счёт анодного растворения и лишь 10...15 % — за счёт механического воздействия.

Электроалмазную обработку ведут по той же схеме, что и электроабразивную, но с применением электропроводящих алмазных кругов. При этом методе обработки около 75 % припуска удаляется за счёт анодного растворения и 25 % — за счёт механического воздействия алмазных зёрен. Производительность электроалмазной обработки выше, чем электроабразивной.

При электроабразивной и электроалмазной обработках значения параметров шероховатости поверхности получаются меньшими, чем при обычном шлифовании абразивными или алмазными кругами. Поэтому эти методы применяют для отделочной обработки труднообрабатываемых материалов, а также нежестких заготовок, так как усилия резания здесь незначительны.

5.4. Электрохонингование

Кинематика процесса обработки электрохонингованием идентична кинематике процесса хонингования абразивными головками. Различие состоит в том, что обрабатываемые

мую заготовку устанавливают в ванну, заполненную электролитом, и подключают к аноду. Заготовку, подлежащую электрохонингованию, подключают к катоду. Кроме того, хонинговальная головка оснащается абразивными брусками, деревянными из липы, ольхи или из пластмассы.

Продукты анодного растворения удаляются с обрабатываемой поверхности заготовки брусками за счёт вращательного и возвратно-поступательного движений хонинговальной головки. Для более активного удаления продуктов анодного растворения в электролит добавляют абразивные материалы.

Электрохонингованию обычно предшествует предварительная обработка в растворе электролита NaNO_3 , в который добавляют абразивный порошок зернистостью не более М28. Окончательная обработка ведётся в том же электролите, но с добавлением в качестве абразива окиси хрома. После удаления припуска с обрабатываемой поверхности осуществляется процесс её «выхаживания» при выключенном электрическом токе для полного удаления анодной плёнки с обработанной поверхности.

Электрохонингование обеспечивает более низкую шероховатость поверхности, чем хонингование абразивными брусками. Поверхность получает зеркальный блеск. Производительность электрохонингования в 4-5 раз выше производительности механического хонингования.

5.5. Анодно-механическая обработка материалов

Анодно-механическая обработка основана на сочетании электротермических и электрохимических процессов и занимает промежуточное место между электроэрозионными и электрохимическими методами.

Обрабатываемую заготовку подключают к аноду, а инструмент — к катоду. В зависимости от характера обработки и вида обрабатываемой поверхности в качестве инструмента используют металлические диски, цилиндры, ленты.

проволоку. Обработку заготовок ведут в среде электролита, которым чаще всего служит водный раствор жидкого натриевого стекла. Заготовке и инструменту задают движения, как при обычных методах механической обработки резанием, т.е. скорость резания и подачу. Электролит подают в зону обработки через сопло. Так как заготовка является анодом, а инструмент катодом, то при пропускании через раствор электролита постоянного электрического тока происходит процесс анодного растворения, присущий электрохимической обработке. При соприкосновении инструмента-катода с микронеровностями обрабатываемой поверхности заготовки-анода происходит процесс электроэрозии, присущий электроискровой обработке. Кроме того, при пропускании электрического тока металл заготовки разогревается в точках контакта её с инструментом, как это имеет место при электроконтактной обработке, и обрабатываемый материал размягчается. Продукты электроэрозии и анодного растворения удаляются из зоны обработки за счёт относительных движений инструмента и заготовки.

Обработку ведут на переменных электрических режимах. При предварительной обработке заготовки задают жёсткий режим, при котором превалирует процесс электроэрозии, обеспечивающий высокую производительность. При окончательной обработке переходят на мягкий режим, при котором превалирует процесс анодного растворения, обеспечивающий высокую точность и качество обрабатываемой поверхности.

Анодно-механической обработке подвергают все токопроводящие материалы, высокопрочные и труднообрабатываемые металлы и сплавы, твёрдые сплавы, вязкие материалы и др.

Анодно-механическое шлифование отверстий проводится либо за несколько проходов с поперечной подачей, либо со снятием припуска за один проход. В твёрдом сплаве можно обрабатывать отверстия со съёмом слоя толщиной 0,4...0,6 мм за проход при продольной подаче 0,03...0,04 мм/мин.

Анодно-механическое фрезерование и точение выполняются металлическим инструментом, профиль которого соответствует профилю детали. Для улучшения попадания электролита в межэлектродный промежуток на образующей диска (инструмента) делают прорезы. Анодно-механическое точение производится торцом фасонного электрода при вращающейся заготовке, чем обеспечивается перенесение профиля инструмента на заготовку. Способ эффективен при обработке сложных фасонных поверхностей. На скорость съёма и шероховатость обработанной поверхности при анодно-механическом фрезеровании и точении влияют плотность тока, скорость вращения инструмента или заготовки, направление подачи электролита и другие факторы. Электролит выбивают в зависимости от обрабатываемого материала.

5.6. Электроэрозионно-химическая обработка

Электроэрозионно-химическая обработка является эффективным способом, в котором используются совмещённые процессы формообразования, при которых съём металла осуществляется путём воздействия электрических разрядов в потоке электролита и анодного растворения. При совмещённой обработке электроинструмент является катодом, заготовка — анодом (прямая полярность).

Электроды разделены промежуток, в который через отверстие в инструменте подаётся электролит, например, 10%-й раствор хлористого натрия. В качестве источника питания применяют двухполупериодный выпрямитель или импульсный генератор. Иногда используют параллельное питание от независимых источников тока: постоянного, обеспечивающего напряжение ниже напряжения горения электрической дуги, и импульсного, обеспечивающего напряжение, необходимое для пробоя межэлектродного промежутка и образования электрического разряда.

Процесс обработки протекает следующим образом. При напряжении на электродах, меньшем напряжения пробоя,

формообразование заготовки происходит за счёт анодного растворения подобно электрохимической обработке. При повышении напряжения до напряжения пробоя межэлектродного промежутка в месте с наименьшей диэлектрической прочностью образуется канал электрического разряда. Здесь происходит местное разрушение материала заготовки, как и при электроэрозионном способе обработки (образуется лунка). В местах, не занятых газовым пузырьём искрового разряда, происходит электрохимическое растворение заготовки (идёт совместный процесс обработки). При падении напряжения на электродах ниже напряжения горения дуги разряд прерывается, формообразование заготовки вновь протекает только за счёт анодного растворения.

Данным способом осуществляют процессы прошивки отверстий, резки, снятия припуска и др.

При совмещённом методе обработки электродные процессы ускоряются вследствие ускорения обмена электролита в межэлектродном промежутке за счёт принудительной прокачки образующимися при разрядах газовыми пузырями.

Наиболее эффективной операцией, выполняемой электроэрозионно-химическим методом, является прошивание отверстий. Линейная скорость внедрения электрода при этом методе обработки отверстий может достигать 60...80 мм/мин при удовлетворительном качестве обработки. Процесс применяют также при обработке сложнофасонных поверхностей, разрезании труб, образовании каналов и т.д.

5.7. Контрольные вопросы

1. Какие методы обработки заготовок называют электрохимическими?
2. Какие операции электрохимической обработки разделяют на две группы?
3. Какие виды (способы) электрохимической обработки проводят в стационарном электролите?

4. Какие виды (способы) электрохимической обработки проводят в проточном электролите?
5. В чём состоит сущность анодно-гидравлической обработки?
6. В чём состоят особенности электрохимического формирования?
7. Какие особенности свойственны электрохимическому прошиванию отверстий?
8. Как ведётся формообразование глубоких отверстий?
9. В чём заключаются особенности анодно-механической обработки?
10. Что отличает электроабразивное шлифование от механического процесса?
11. Какие особенности свойственны электроалмазному шлифованию?
12. В чём заключается сущность электрохонингования?

ГЛАВА 6. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

6.1. Лазерная (светолучевая) обработка заготовок

Светолучевую обработку материалов производят с помощью оптических квантовых генераторов (ОКГ), называемых лазерами. Лазер способен создавать узкие направленные пучки видимого света, характеризующиеся чрезвычайно высокой плотностью тепловой энергии. Благодаря этому с помощью лазера можно выполнять ряд различных технологических операций, в том числе обработку сверхтвёрдых и тугоплавких материалов (резание, сверление, сварка, плавление). Существуют три вида лазеров: твердотельные (кристаллические), жидкостные и газовые.

Активные тела твердотельных лазеров являются сложными микросистемами, состоящими из ядер и электронов. Энергия относительного движения частиц твёрдых тел может принимать строго определённые значения, называемые уровнями энергии. Уровень с минимальной энергией является основным, остальные уровни — возбуждёнными. Если атому, находящемуся на основном уровне, сообщить дополнительную энергию (энергию «накачки»), то он может скачкообразно совершить переход с одного уровня энергии на другой, т.е. перейти на один из уровней возбуждённого состояния. При переходе атома из возбуждённого состояния на основной уровень атом излучает порцию энергии — квант света.

Частота поглощаемого или излучаемого света определяется физическими константами активного вещества лазера. Широко используется кристаллический лазер на основе синтетического рубина в форме стержня, служащего резонатором, в котором возникает и формируется луч, испускаемый лазером.

Простейшая схема кристаллического лазера показана на рисунке 6.1. Рубиновый стержень 5 оснащается импульсной

лампой 1, наполненной ксеноном. Лампа всякий раз вспыхивает при импульсном разряде конденсатора источника питания 2 (источника энергии накачки). На торцах стержня установлены непрозрачная пластина 6 (с коэффициентом отражения 1) и полупрозрачная (с коэффициентом отражения 0,5) пластина 4. Световой луч 3, возникающий в результате возбуждения атомов, выходит наружу через пластину 4.

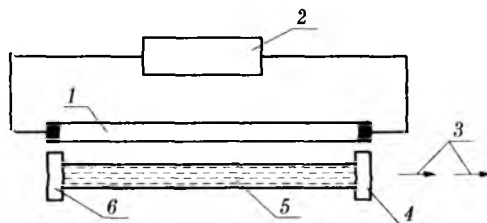


Рис. 6.1. Схема твердотельного (рубинового) лазера:

- 1 — газоразрядная импульсная лампа;
- 2 — источник тока; 3 — световой луч;
- 4 — полупрозрачная пластина; 5 — рубиновый стержень;
- 6 — непрозрачная отражательная пластина

Процесс образования лазерного луча можно пояснить следующим образом. Атомы хрома, содержащиеся в рубине, находятся в невозбужденном состоянии. Под действием фотонов света от лампы атомы хрома переходят в возбужденное состояние. Часть излучаемой энергии рассеивается через стенки стержня и проявляется в форме люминесцентного свечения рубинового кристалла. Другая часть энергии, направленная параллельно оси стержня, по пути своего движения вызывает цепную реакцию образования новых фотонов, многократно отражается от пластин 4 и 6 на торцах рубинового стержня, лавинообразно нарастая при каждом отражении, и в виде мощного светового луча вырывается из торца с полупрозрачным покрытием.

Особенностью луча лазера является его высокая когерентность, то есть постоянство амплитуды, частоты, фазы, направления распространения и поляризация фотонов све-

тового излучения (электромагнитной волны), в результате чего расхождение луча испускаемого лазером, не превышает 1° . Излучение оптического квантового генератора концентрируется на обрабатываемой заготовке с помощью оптической системы. Сферической оптикой излучение фокусируется в точку, а цилиндрической оптикой — в линию, длина которой определяется поперечным сечением луча генератора. Первый лазер на кристаллическом рубине (плавленная окись алюминия с добавкой 0,04...0,05 % атомов трёхвалентного хрома) был создан в 1960 году. Наряду с рубиновыми лазерами широкое распространение получили лазеры на стеклянной основе, имеющие ряд таких достоинств, как большие размеры стержней (до 2000 мм), в то время как длина рубиновых стержней достигает 300 мм, простота изготовления образцов любой формы, высокая оптическая однородность, простота массового производства. Наиболее интересным по своим возможностям считают твёрдый лазер на иттриево-алюминиевом гранате с примесью неодима. Это единственный твёрдый лазерный материал, на котором удалось получить в непрерывном режиме мощность более 1 кВт. Однако этот материал является дорогим. Кроме того, имеются технические трудности в выращивании из него стержней длиной более 120...150 мм. Срок службы твердотельных лазеров определяется сроком службы лампы накачки и достигает 1500 ч, КПД их весьма невелик и для лучшего рубинового лазера не превышает 1,5 %.

Газовыми называют лазеры, в которых активной средой является газ, смесь нескольких газов или смесь газа с парами металла. Особенность газовой активной среды — её высокая оптическая однородность, дающая возможность применять большие оптические резонаторы и получать высокую направленность и монохроматичность излучения. Газовые ОКГ делятся на три большие группы: лазеры на атомных, ионных и молекулярных переходах. Большим достоинством газовых лазеров является также их способность работать как в непрерывном, так и в импульсном

режимах. Газовые лазеры возбуждаются продольными электрическими разрядами, поперечными электрическими разрядами и другими физическими эффектами.

В жидкостных лазерах активной средой является жидкость. Жидкие активные среды имеют существенные преимущества по сравнению с твёрдыми и газообразными. Размеры твёрдого резонатора ограничены технологическими возможностями. Объём жидкой среды может быть любым. Важным преимуществом жидкой среды является отсутствие потерь излучения из-за неоднородности структуры активного вещества, что наблюдается в твёрдых резонаторах. Легко решается проблема отвода тепла (за счёт циркуляции жидкости резонатора). По сравнению с газообразной активной средой жидкая среда характеризуется большей концентрацией активных молекул, поэтому она более пригодна для получения мощного непрерывного излучения. В настоящее время используют жидкие активные среды трёх классов: растворы редкоземельных хелатов, растворы органических красителей и растворы неорганических соединений редкоземельных элементов. Накачка осуществляется с помощью лампы-вспышки или импульсных устройств специальной конструкции.

При обработке заготовок лазерами с помощью сравнительно несложной оптической системы можно сфокусировать луч на площадку диаметром в несколько микрометров. Тогда при мощности генератора в несколько кВт можно получить плотность потока излучения в зоне воздействия до 10^8 Вт/мм². Температура в точке приложения луча достигает величин, достаточных для расплавления и превращения в пар любого из существующих в природе материалов. В большинстве случаев эта температура находится в интервале 5000...9000 °С (большие значения — для сильно поглощающих материалов, меньшие — для полупрозрачных с высокой отражающей способностью).

Взаимодействие излучения высокой интенсивности с веществом вызывает в зоне воздействия выделение большого количества тепла, которое приводит к расплавлению и ис-

парению вещества. В зоне воздействия развивается достаточно высокое давление паров вещества и происходит выброс продуктов (светолучевая эрозия). Это справедливо для большинства металлических и неметаллических материалов. Процесс носит взрывной характер, так как время излучения при импульсном воздействии чрезвычайно мало (0,001...0,00001 с).

Несколько иной характер имеет процесс удаления вещества при получении отверстий в алмазах (например, для получения фильер). В них под воздействием высокой температуры происходит выгорание углерода.

Основными факторами, определяющими обрабатываемость материалов лазером, являются их теплофизические свойства и прежде всего температуры плавления и кипения, теплоёмкость, теплопроводность. Различная твёрдость и шероховатость поверхности практически не оказывают влияния на результаты обработки. Материалы обладают различной относительной обрабатываемостью и в условных единицах она может быть выражена следующим образом: вольфрам — 1; медь — 1,43; молибден — 1,86; ниобий — 2; хром — 2,72; цирконий — 3,58; алюминий — 4,57; сталь У10 — 5,7; титан — 6,43; олово — 28,6, свинец — 35,8.

Достаточно легко обрабатываются сфокусированным лучом лазера керамика и синтетические камни.

У большинства металлических и неметаллических деталей входное отверстие оказывается окружённым валиком выброшенного из кратера жидкого вещества. Исключение представляет алмаз, при обработке которого жидкая фаза отсутствует. Обработанное лучом лазера отверстие имеет неодинаковые в продольном сечении размеры (по глубине). Можно выделить три основные зоны, отличающиеся своими размерными характеристиками: вход, средняя часть и дно. Размеры этих зон для различных материалов неодинаковы и определяются теплофизическими свойствами материалов. Средняя часть отверстия имеет относительно цилиндрическую форму по длине. Поэтому для получения цилиндрических

отверстий в пластинах целесообразно применять следующий технологический приём. На заготовку накладывают пластину из того же материала, толщина которой равна величине входной зоны. В результате обработки конусная часть, образующаяся вначале, оказывается в этой пластине. Удаляемые продукты также остаются на этой пластине, а отверстия в заготовке получаются нормальной цилиндрической формы.

При прошивке лучом лазера сквозных отверстий они в продольном сечении получают корсетную форму.

Перспективным методом более точной обработки отверстий является многоимпульсный метод. При этом методе формирование отверстия производится не за один импульс, а в течение серии импульсов определённой мощности и длительности.

Достаточно эффективна газолазерная резка материалов (резка лучами лазера с использованием газа, подаваемого в зону резки). Тип газа зависит от вида обрабатываемого материала. Приток газа под давлением позволяет повысить скорость резки и получить более качественный разрез. В технологических установках для лазерной резки используют как импульсные лазеры, так и лазеры непрерывного действия (обычно на углекислом газе, с мощностью излучения $P = 100...1000$ Вт).

Значительное влияние на скорость резки материалов излучением лазера оказывает давление газовой струи. При высоком давлении рабочая зона лучше очищается от продуктов разрушения, и процесс идёт более эффективно. Для резки хрупких материалов (полупроводники, керамика, стекло и пр.) не обязательно осуществлять сквозной разрез. Эти материалы могут быть разделены путём нанесения на их поверхность неглубоких царапин с последующим изломом по этим линиям. Такой процесс называется скрайбированием.

Отклонения размеров при обработке лучом лазера составляют около 1 % величины диаметра получаемого отверстия, а шероховатость обработанной поверхности соответствует параметру $Ra = 0,32...1,25$ мкм.

6.2. Плазменная обработка заготовок

Плазменная струя представляет собой направленный поток ионизированных частиц газа, имеющего температуру 10000...30000 К. Плазму получают, пропуская поток газа через столб электрической дуги (рис. 6.2). Для этого столб дуги 1, горящей между электродом 2 и соплом 5, помещают в узкий канал 4 с интенсивно охлаждаемыми стенками и через него продувают газ. Столб дуги при этом сжимается, что приводит к повышению в нём плотности энергии и температуры. Продуваемый газ почти полностью проходит через столб дуги. Частые столкновения частиц при высокой температуре дуги приводят к потере атомами газа одного или нескольких электронов из их внешней оболочки, т.е. к высокой степени ионизации. Это обуславливает весьма высокую температуру, повышенную электропроводность и способность плазменной струи 6 к взаимодействию с электрическими и магнитными полями.

Различают два типа плазменной струи: выделенную из дуги и совпадающую со столбом дуги. Существуют следующие схемы устройства дуговых плазменных горелок (плазмотронов).

В горелках первого типа дуга 1 горит между неплавящимся вольфрамовым электродом 2 и соплом 5, к которому подключён положительный полюс источника тока (рис. 6.2, а). Столб дуги располагается в канале 4 корпуса горелки, изолированном от электрода керамической прокладкой 3. По каналу через столб дуги пропускается плазмообразующий газ. Канал и сопло интенсивно охлаждаются водой. Из сопла выходит ярко светящаяся плазменная струя 6. Струя имеет высокую скорость истечения, обусловленную ускоряющим действием электрического поля на заряженные частицы газа. Контуры струи зависят от формы сопла, а её размеры, кроме этого, ещё и от формы, размеров канала и величины тока. Можно получать струю конической и цилиндрической форм. Горел-

ка питается постоянным током прямой полярности от источников с падающей характеристикой. Дугу зажигают с помощью осциллятора.

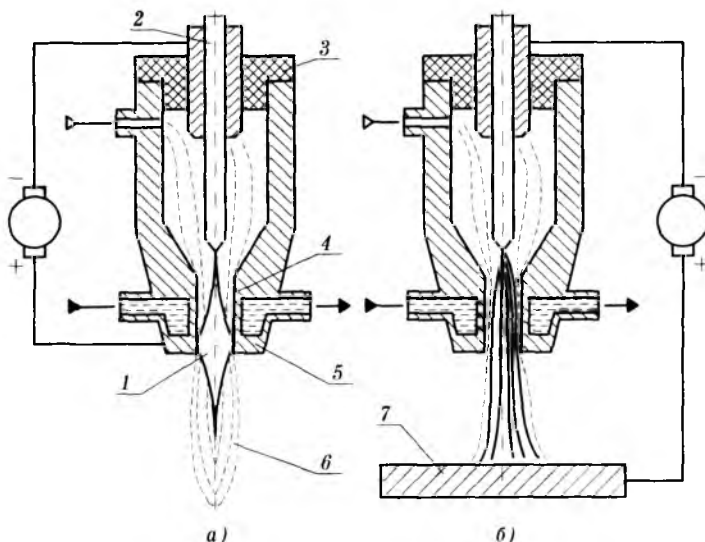


Рис. 6.2. Схема плазменной струи:

- а* — выделенной из электрической дуги;
б — совмещённой с электрической дугой:
1 — столб дуги; **2** — электрод; **3** — керамическая прокладка;
4 — канал корпуса горелки; **5** — сопло;
6 — плазменная струя; **7** — заготовка

Создаваемая горелкой плазменная струя представляет собой независимый источник теплоты, который можно использовать для обработки электропроводящих и неэлектропроводящих материалов.

Устройство горелок второго типа (рис. 6.2, б) принципиально не отличается от устройства горелок первого типа. Они также имеют изолированный от электрода совмещённый канал-сопло 4 и 5, но дуга 1 горит между электродом 2 и заготовкой 7. Дугу зажигают с помощью осциллятора. Осциллятор также служит для возбуждения и постоянного горения вспомогательной маломощной дуги между элект-

родом и соплом. Для этого к соплу подводится токоподвод через сопротивление от положительного полюса источника. В данном случае образуется плазменная струя, совпадающая со столбом дуги. Такая схема обуславливает повышенную эффективную мощность плазменной струи.

В качестве плазмообразующего газа, как правило, используют аргон, который обеспечивает устойчивость процесса образования плазмы, предохраняет электрод, канал и сопло от быстрого износа, а также служит защитной средой для обрабатываемого материала. Следует отметить, что плазменная струя в связи с небольшим расходом газа и большой скоростью истечения струи, способствующей подосу воздуха, не обеспечивает достаточной защиты материала. Поэтому горелки снабжают вторым соплом, расположенным концентрически вокруг первого, для дополнительной подачи защитного газа. Недостаток аргона как одноатомного плазмообразующего газа заключается в его низкой теплоёмкости. Это свойство обуславливает сравнительно малую эффективную тепловую мощность плазменной струи, особенно для схемы с выделением её из столба дуги. Для получения мощной плазменной струи последнего типа, используемой для резки, применяют двухатомные газы (водород или азот). Способность этих газов к диссоциации молекул в дуге и их рекомбинации на поверхности материала обеспечивают перенос большого количества энергии из столба дуги на поверхность материала. Однако их применение приводит к быстрому износу электрода и сопла горелки. Поэтому эти газы используют в смеси с аргонном.

Плазменная струя обладает большими технологическими возможностями. Эффективную тепловую мощность струи можно регулировать в широких пределах. Возможность получения мощной струи, обладающей высокой проплавляющей способностью и повышенной производительностью, позволяет сваривать материалы толщиной до 15 мм без разделки кромок. Повышенная устойчивость процесса образования плазмы позволяет вместе с тем получать при токах до 0,5 А микроплазменную струю, которой можно сваривать

металл толщиной в несколько десятков микрон. Повышая ток и расход плазмообразующего газа, получают плазменный источник с большой скоростью истечения струи, способной обеспечивать сквозное проплавление и выдувание расплавленного материала. Такую плазменную струю используют для резки. Плазменной струёй, выделенной из дуги и имеющей независимый характер, позволяющий регулировать её тепловое воздействие, сваривают заготовки разной толщины с присадочным и без присадочного материалов, а также вести обработку неэлектропроводящих материалов.

Приведённые технологические возможности плазменной струи обуславливают её применение для многих операций обеспечения неподвижных соединений. Плазменную струю как высокотемпературный и концентрированный источник теплоты широко применяют для сварки, плавления веществ, наплавки, резки заготовок на части, напыления материалов на подложку и других видов тепловой обработки материалов. С её помощью обеспечиваются такие виды работ, как:

- сварка неметаллических материалов: стекла, керамики, металлокерамики и др.;
- сварка разнородных материалов;
- резка всех материалов, в том числе тугоплавких (молибдена, вольфрама, металлокерамики, стеклопластика и др.) и материалов с высокой теплопроводностью (меди, алюминия и др.);
- наплавка поверхностных слоёв;
- напыление защитных покрытий;
- пайка твёрдыми и мягкими припоями;
- термическая обработка деталей изделий.

6.3. Электроэрозионная обработка заготовок

Электроэрозионные методы обработки основаны на явлении эрозии (разрушения) электродов из токопроводящих материалов при пропускании между ними импульсного электрического тока. При наличии потенциала на электродах

межэлектродное пространство ионизируется. Когда разность потенциалов достигает определённой величины, в среде между электродами образуется канал проводимости, по которому устремляется электрическая энергия в виде импульсного искрового или дугового разряда. Благодаря высокой концентрации энергии, выделяемой за время $10^{-5} \dots 10^{-8}$ с, мгновенная плотность тока в канале проводимости достигает $8000 \dots 10000$ А/мм², в результате чего температура на поверхности обрабатываемой заготовки — электрода возрастает до $10000 \dots 2000$ °С. При этой температуре мгновенно оплавляется и испаряется элементарный объём металла и на обрабатываемой поверхности образуется лунка. Удалённый металл застывает в окружающей среде (как правило, диэлектрическая жидкость) в виде сферических гранул диаметром $0,01 \dots 0,05$ мм.

Следующий импульс тока пробивает межэлектродный промежуток там, где расстояние между электродами окажется наименьшим. При непрерывном подведении к электродам импульсного тока процесс эрозии продолжается до тех пор, пока не будет удалён весь металл, находящийся между электродами на расстоянии, при котором возможен электрический пробой ($0,01 \dots 0,05$ мм) при заданном напряжении импульса. Для продолжения процесса эрозии или его возобновления необходимо сблизить электроды до указанного расстояния. Электроды сближаются автоматически за счёт использования следящих систем. Кроме теплового воздействия, при электроэрозионных процессах на материал заготовки-электрода действуют электродинамические и электростатические силы, а также давление жидкости от явления кавитации.

В зависимости от условий обработки, применяемых режимов, оборудования и технологических приёмов и получаемых технологических характеристик эрозионную обработку электрическими разрядами принято подразделять на электроискровую и электроимпульсную. В зависимости от частоты повторения электрических разрядов выделяют низко-, средне- и высокочастотную эрозионную обработку.

При электроискровой обработке используют электрические импульсные разряды малой длительности (от долей мкс до нескольких сотен мкс) и малой энергии (до 4...5 Дж), следующих с большой скважностью (характеристикой, равной отношению периода к длительности импульса) и высокой частотой (до $1,5 \cdot 10^6$ кГц). Обработку производят при сравнительно невысоких напряжениях, обычно не превышающих 250 В. При этих напряжениях расстояние между электродами очень невелико и составляет несколько сотых долей миллиметра. Затраты энергии на съём 0,1 кг металла составляют 4...5 кВт · ч.

Этот вид обработки применяют преимущественно для прецизионной обработки небольших деталей радиоэлектронной промышленности, топливной аппаратуры (мелкие отверстия, шлифовальные операции), вырезки фасонных контуров твердосплавных вырубных штампов непрофилированным (проволочным) электродом. При этом способе обработки достигается относительно низкая шероховатость $Ra = 1,25...2,5$ мкм по ГОСТ 2789-73 и высокая точность обработки.

Для обеспечения наибольшей производительности при съёме металла с заготовки и наименьшего износа инструмента электрод-инструмент подключают к отрицательному полюсу генератора — катоду, а заготовку — к положительному полюсу — аноду.

Электроимпульсная обработка представляет собой разновидность электроэрозионной обработки. Она характеризуется большей скоростью съёма металла при относительно больших значениях параметров шероховатости обработанной поверхности. Режимы обработки и форма используемых при обработке импульсов имеют существенные отличия от параметров при электроискровой обработке. Так как при электроимпульсной обработке в электродной зоне реализуется большая электрическая мощность, скорость съёма металла по сравнению со скоростью съёма при электроискровой обработке повышается в 8...10 раз.

Увеличение длительности импульсов при низкой скважности и устранение обратной полуволны напряжения приводят здесь к резкому снижению износа электрода-инструмента. В отличие от электроискровой обработки здесь применяется обратная полярность: анод-инструмент, катод-заготовка.

Электроимпульсная обработка благодаря высоким скоростям съёма металла при снижении относительного износа инструмента позволяет обрабатывать фасонные поверхности большой площади, требующие значительного съёма металла. Высокий КПД генератора импульсов, применяемого при импульсной обработке, обеспечивает проведение обработки при пониженном удельном расходе электрической энергии.

Процесс импульсной обработки, как и все электроэрозионные процессы, основан на расплавлении малых частиц металла в зоне электрических разрядов. С повышением частоты разрядов показатели шероховатости уменьшаются, поэтому при электроимпульсной обработке используют токи повышенной частоты, вырабатываемые специальными генераторами.

Режимы электроимпульсной обработки отличаются от режимов электроискровой обработки применением пониженных напряжений и относительно большими значениями средних токов. Так для некоторых генераторов импульсов верхний предел регулирования напряжения составляет 24...26 В, а нижний 11...12 В. При напряжении ниже 11 В производительность и стабильность процесса резко снижаются. Скорость съёма металла при электроимпульсной обработке зависит главным образом от силы тока.

Обрабатываемость материалов при электроимпульсной обработке зависит в основном от теплофизических констант. Закалённые и незакалённые углеродистые стали обрабатываются почти одинаково. Инструментальные, штамповые и другие стали обрабатываются так же, как углеродистые. Детали из жаропрочной стали 14X17H2, алюминиевого сплава АЛ5-1 обрабатываются на 30...50 % быстрее, чем

детали из углеродистых сталей. Скорость обработки твёрдых сплавов значительно ниже.

При электроэрозионной обработке применяют различные кинематические схемы формообразования поверхностей. Наиболее часто применяют схемы прямого и обратного копирования профиля, то есть когда путём поступательного осевого перемещения электрода-инструмента копируется форма и размеры его торца. Прямое копирование представляет собой изготовление отверстия электродом в форме круглого стержня, а обратное копирование — изготовление выступа, сечение которого соответствует отверстию полого стержня-электрода. Электроискровая обработка может производиться методом обкатки, когда обрабатываемая поверхность образуется как огибающая ряда последовательных положений электрода-инструмента относительно заготовки.

На универсальных электроэрозионных станках осуществляют такие операции, как прошивание окон в матрицах штампов, узких щелей в литейных формах, отверстий в постоянных электромагнитах, криволинейных отверстий и каналов в корпусах машин и гидроаппаратуры, глубоких отверстий малого диаметра.

Электроэрозионный метод позволяет обрабатывать элементы вырубных штампов из закалённых заготовок. Особенности прошивания отверстий в штампах является необходимость точного сопряжения контура матрицы и пуансона, а также уменьшение влияния обратной конусности. Уменьшение конусности прошиваемого отверстия со стороны рабочей кромки матрицы достигается применением многоступенчатых электродов-инструментов, отсосом рабочей жидкости, смещением инструмента в сторону рабочей поверхности окна или придания инструменту планетарного перемещения, т.е. движения по контуру с одновременным вращением вокруг своей оси. При этом методе обработки межэлектродный зазор увеличивается на величину $2r$ (r — радиус поперечного сечения электрода), благодаря чему улучшаются условия удаления из зазора продуктов эрозии. Обработка

поверхности заготовки производится различными участками электрода-инструмента, благодаря чему точность и качество обработанной поверхности повышаются. Контур обработанного отверстия является эквидистантой по отношению к кривой, по которой перемещается центр планетарного движения электрода-инструмента. Существующее оборудование позволяет получить зазор 0,03...0,08 мм в сопряжении пуансона и матрицы. На прецизионных станках возможно обеспечение зазора 0,01...0,02 мм. Шероховатость рабочей поверхности $Ra = 1,25...2,5$ мкм.

Глухие отверстия выполняют за несколько переходов, при этом несколько раз производят замену электродов и последовательно уменьшают параметры режима обработки. Закачивают обработку с использованием доводочных параметров обработки.

Электроэрозионным способом прошивают щели шириной 0,4...0,8 мм, глубиной до 20 мм или щели шириной 2,5...10 мм глубиной до 100 мм. Для обеспечения удаления продуктов эрозии из межэлектродного промежутка электрод-инструмент делают Т-образной формы или уменьшают толщину хвостовой части по сравнению с рабочей частью на несколько десятых долей миллиметра. Скорость прошивания щелей составляет 0,5...0,8 мм/мин, шероховатость обработанной поверхности до $Ra = 2,5$ мкм.

Получить отверстия в постоянных магнитах механическим способом практически невозможно из-за высокой твердости ($HRC\ 56...60$) магнитных материалов. Отверстия диаметром 3...10 мм в магнитных материалах получают прошиванием на универсальных электроэрозионных станках. Средняя производительность при прошивании, например, отверстия диаметром 6,5 мм в сплаве ЮНДК35К5 составляет 20...25 мм³/мин (при линейной подаче электрода около 0,5 мм/мин). Шероховатость обработанной поверхности составляет $Ra = 20...25$ мкм.

Электроэрозионной обработкой прошивают отверстия с криволинейной осью. Для выполнения этой операции на

станке используют криволинейный электрод-инструмент, который совершает движение вдоль своей оси, внедряется в заготовку, образуя в ней криволинейное отверстие.

Большой практический интерес представляют возможности обработки глубоких цилиндрических отверстий. Здесь получение отверстия возможной глубины и заданного диаметра зависит от вида электрода-инструмента, обеспечивающего ту или иную интенсивность обмена рабочей среды.

Применением трубчатых электродов, через отверстие которых производят прокачку рабочей жидкости, удаётся повысить предельную глубину обработки. Отверстие практически неограниченной глубины можно получать, сообщая этому электроду вращение вокруг своей оси.

Отверстия диаметром менее 0,1 мм при электроэрозионной обработке получают электродом из вольфрамовой проволоки, покрытой слоем меди. Медная оболочка увеличивает жёсткость инструмента, обеспечивает возможность закрепления электрода на станке. Для обеспечения высокой точности (несколько мкм) и шероховатости обработанной поверхности $Ra = 0,16 \dots 0,32$ мкм обработку ведут на мягких режимах при напряжении 20...50 В при энергии импульса 2,5...12 мкДж.

Перед началом обработки отверстий электродом с медным покрытием его рабочую (концевую) часть освобождают от покрытия электрохимическим методом (травлением в серной кислоте). Время обработки, например, отверстий диаметром 0,02...0,04 мм в твёрдом сплаве ВК8 вольфрамовым электродом при глубине прошивания 0,3 мм составляет около 4,5 мин. Прецизионная обработка позволяет получить размер с отклонением не более 0,003 мм.

Одной из разновидностей электроэрозионной обработки является электроэрозионное шлифование, которое используют для обработки заготовок из труднообрабатываемых металлов и твёрдых сплавов. Удаление металла при электроэрозионном шлифовании происходит под воздействием импульсных разрядов между вращающимся электродом-инст-

рументом и обрабатываемой заготовкой, а не в результате механического воздействия, как при абразивном шлифовании. Электроэрозионное шлифование осуществляется по схемам, аналогичным обработке обычными шлифовальными кругами при круглом (наружном, торцовом и внутреннем) и плоском шлифовании.

Рабочей средой при электроэрозионном шлифовании является масло, подачу которого осуществляют подачей струи жидкости в место контакта инструмента и заготовки.

Методы прямого и обратного копирования имеют существенный недостаток, заключающийся в необходимости использования сложных фасонных электродов-инструментов. Трудоемкость изготовления электродов-инструментов часто бывает очень высокой. Износ электрода-инструмента отражается на точности изготовления детали, поэтому одним электродом-инструментом удаётся изготовить не более 5...10 деталей. Электроискровой метод обработки непрофилированным электродом выгодно отличается от методов копирования тем, что здесь инструментом является тонкая проволока из латуни, меди или вольфрама диаметром от нескольких микрометров до 0,5 мм, включаемая в электрическую схему катодом. Схема обработки показана на рисунке 6.3. Для устранения влияния износа проволоки на точность обработки проволока непрерывно перематывается с катушки на катушку, что позволяет участвовать в работе все новым её элементам. При перемотке проволоки осуществляется необходимое её натяжение. На входе и выходе проволоки из обрабатываемой заготовки уста-

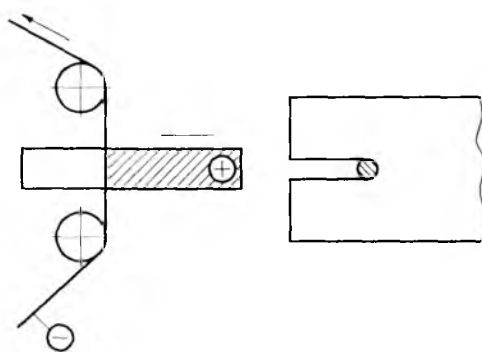


Рис. 6.3. Схема обработки заготовки непрофилированным электродом

новлены ролики, ориентирующие проволоку относительно обрабатываемого элемента заготовки.

Обработку непрофилированным электродом применяют для выполнения следующих операций:

- прецизионное резание заготовок;
- прорезания точных щелей;
- резания полупроводниковых материалов типа кремния, индия и др.;
- криволинейное резание заготовок из твёрдого сплава, магнитных материалов, вольфрама и т.д.;
- изготовление пуансонов и матриц гибочных и вырубных штампов, рабочей части фасонных призматических резцов, вытяжных и высадочных матриц и т.д. (точность размеров после обработки составляет 0,005 мм, шероховатость обработанной поверхности до $Ra = 0,63$ мкм);
- снятие больших припусков с заготовок из специальных материалов;
- обработка цилиндрических, конических наружных и внутренних поверхностей.

Используя различные копирные устройства, этим методом производят обработку сложных контуров. Непрофилированным электродом осуществляют сквозную вырезку фигур со сложным наружным или внутренним профилем, имеющим прямолинейную образующую. Изготовление закрытых полостей типа пресс-форм и ковочных штампов здесь не представляется возможным из-за особенностей реализации кинематической схемы.

К основным достоинствам электроэрозионной обработки проволочным электродом-инструментом относятся высокая точность и возможность широкой автоматизации процесса обработки. Современные станки для обработки проволочным электродом могут быть снабжены системой числового программного управления или фотокопировальной головкой для вырезания детали непосредственно по чертежу. Схема установки для вырезаний по фотокопиру показана на рисунке 6.4.

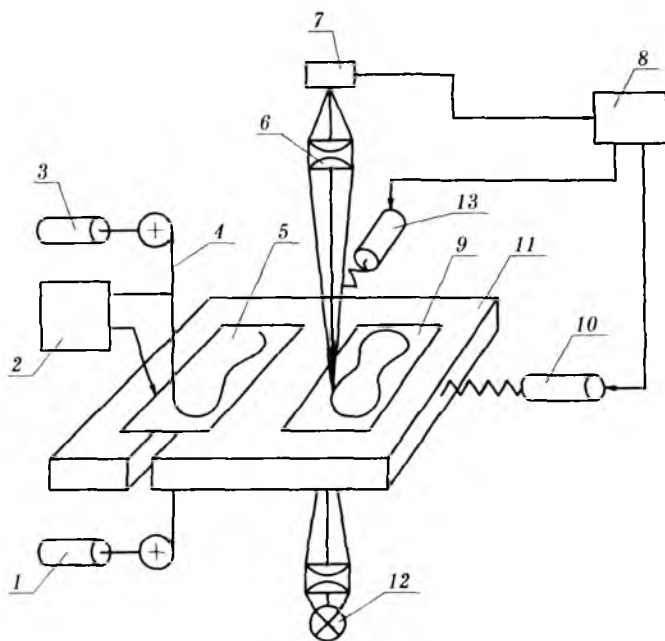


Рис. 6.4. Кинематическая схема электроискрового станка с фотокопировальным устройством:

- 1** — электродвигатель; **2** — генератор импульсов;
3 — электродвигатель перемотки; **4** — электрод проволоочный;
5 — столик с заготовкой; **6** — оптическая система;
7 — фотодатчик; **8** — электронное следящее устройство;
9 — столик фотокопира; **10, 13** — двигатели столика;
11 — координатный столик; **12** — источник света

Координатный стол **11** совмещает в себе жёстко связанные рабочий столик с заготовкой **5** и столик **9** фотокопировальной системы. Стол приводится в движение в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью двигателей **10** и **13**. Освещённый источником света **12** копир проектируется через оптическую систему **6** на фотодатчик **7**, преобразующий положение линии копирования в электрический сигнал, действующий через электронное следящее устройство **8** на электродвигатели подачи так, что копир

своим краем непрерывно перемещается перед объективом. Эквидистантно обходу копира относительно проволоки-инструмента перемещается рабочий столик с укрепленной на нём заготовкой. Для обеспечения электроэрозионного процесса к заготовке и электроду-проволоке подводят ток от специального генератора импульсов 2. Проволочный электрод 4 непрерывно перематывается с подающей катушки на приёмную электродвигателем перемотки 3.

Электродвигатель 1, включённый в заторможенном режиме, создаёт натяжение проволоки. Рабочей жидкостью служат керосин или вода (промышленная или дистиллированная). Применение в качестве рабочей жидкости деионизированной воды повышает производительность обработки заготовок.

В зависимости от назначения и вида обрабатываемой заготовки при обработке непрофилированным электродом используют три режима: мягкий, средний и грубый. Мягкий режим применяют для миниатюрных и сложных деталей, не требующих дополнительной обработки (для одновременной обработки сочленяющихся деталей типа пуансона и матрицы, для изготовления очень узких пазов и щелей). Обработку ведут вольфрамовыми проволоками диаметром 5...30 мкм. Получаемая шероховатость обработанной поверхности составляет $Ra = 1,25...0,63$ мкм. Средний режим применяют при обработке сочленяющихся деталей, для резки на части, получения пазов и щелей. Работу производят медными проволоками диаметром 0,1...0,2 мм. Шероховатость обработанных поверхностей $Ra = 1,25$ мкм. Грубый режим применяют при грубой и быстрой обработке заготовок, требующих доводки, для отрезки заготовок, вырезки шаблонов и т.д. Работу производят медными или латунными проволоками диаметром более 0,2 мм.

Достижимая точность изготовления деталей непрофилированным электродом-проволокой лежит в пределах $\pm (0,02...0,003)$ мм.

Под действием электрических импульсов электрод-проволока изнашивается. Величина износа зависит от режима

обработки, толщины заготовки и скорости перемотки проволоки. Электрод-проволока используется однократно, так как после прохождения через зону обработки проволока становится непригодной для повторного использования независимо от степени износа. Влияние эрозии особенно резко проявляется при применении проволок малого диаметра, так как величина эрозии от единичного разряда соизмерима с диаметром проволоки.

Электроконтактная обработка материалов является разновидностью электроэрозионной. Метод основан на локальном нагреве заготовки в месте контакта с инструментом-электродом и удалении размягчённого или в некоторых случаях расплавленного металла из зоны обработки механическим способом за счёт относительного движения заготовки и инструмента. Источником образования тепла в зоне обработки являются импульсные дуговые разряды. Инструментом-электродом является вращающийся чугунный или медный диск. Обработку ведут на постоянном или переменном токе напряжением 10...40 В в процессе обработки диск охлаждают.

Электроконтактным методом можно производить получистовое точение тел вращения, чистовую резку, прошивание цилиндрических, фасонных отверстий и объёмных полостей (с прокачкой жидкости под высоким давлением), фрезерование, шлифование, обработку фасок листовой заготовки под сварку. Электроконтактный метод особенно эффективен при обработке заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов, а также чугунов высокой твёрдости, монокристаллов, материалов с высокими теплофизическими свойствами.

Длительность и энергия импульса тока зависят от механических параметров. Наибольшее воздействие на протекание электроэрозионного процесса оказывают окружные скорости электрода-инструмента и заготовки. С увеличением окружных скоростей электродов импульсы тока становятся более кратковременными частота их увеличивается. Для устойчивого процесса обработки скорость электрода-инструмента не должна быть меньше определённого предела, завися-

щего от электрического режима. При интенсивных режимах минимальная окружная скорость равна 6...7 м/с. Уменьшение скорости электрода-инструмента ниже этого предела ведёт к резкому ухудшению всех показателей обработки, так как разряд теряет импульсный характер и приобретает свойство дуги. Верхний предел скорости электрода-инструмента ограничен удобством эксплуатации, прочностью станка и мощностью приводного двигателя.

Окружную скорость заготовки в зависимости от условий обработки устанавливают в пределах 0,02...0,2 м/с. С увеличением окружной скорости заготовки увеличивается площадь, на которую воздействует импульс, что неблагоприятно отражается на производительности.

Основным фактором, определяющим производительность электроконтактной обработки, является мощность, реализуемая в межэлектродном промежутке. С увеличением тока и напряжения растёт скорость съёма металла. Для получения оптимальных технологических показателей обработки рекомендуется выбирать напряжение в зависимости от силы рабочего тока (табл. 6.1).

Таблица 6.1

**Зависимость рекомендуемого напряжения
от силы рабочего тока**

Величина тока, А	100	300	500	750	1000
Напряжение на межэлектродном промежутке, В	22...24 *	23,5...25	24...26	24,5...27	25...28

В производственных условиях электроконтактную обработку применяют главным образом на заготовительных операциях и на операциях черновой обработки заготовок с большими припусками. Электроконтактное разрезание заготовок отличается высокой производительностью (до 2000 мм³/мин). Отрезку производят либо вращающимся диском, либо бесконечной лентой с линейной скоростью движения инструмента 40...60 м/с (плотность тока до 2000000 А/м²).

Электроконтактная обдирка характеризуется большими рабочими токами (до 2000...3000 А) и высокой производительностью (съём металла может составлять до 3000000 мм³/мин).

6.4. Контрольные вопросы

1. Какие методы обработки заготовок называют электрофизическими?
2. В чём состоит сущность лазерной обработки заготовок?
3. Какие лазеры используют в производстве?
4. Что представляет собой когерентное излучение света?
5. Какие виды плазменных установок используются в производстве?
6. Какие преимущества при обработке даёт выделенная из дуги плазменная струя?
7. Какие операции производят с помощью плазменной струи?
8. Каким образом в установках получают плазму для осуществления ею обработки материалов?
9. Что является общим признаком всех видов электроэрозионной обработки?
10. Что представляет собой электроискровая обработка материалов?
11. Что представляет собой электроимпульсная обработка материалов?
12. Какие виды обработок обеспечивает электроискровая и электроимпульсная обработка материалов?
13. Каким образом осуществляется обработка материалов непрофилированным электродом?
14. Как устроен современный станок для обработки материалов непрофилированным электродом?
15. В чём состоит сущность электроконтактной обработки?
16. Какие преимущества или недостатки имеются у электроконтактной обработки заготовок?

Раздел 3

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

ГЛАВА 7. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

7.1. Показатели точности механической обработки заготовок

Точность — это свойство измерений, проводящихся во времени и в пространстве. В связи с этим различают точность временную — на основе измерения физической величины — времени, и точность пространственную — на основе трёх-, двух- и однокоординатной системы осей пространственной системы координат X , Y , Z . Вообще, под точностью понимают степень соответствия измеренных величин физического объекта их истинным значениям. В данном случае физическая величина отражает какое-либо качественное или количественное свойство. Так как истинное значение физических величин идеально отражает свойство рассматриваемого объекта как в качественном, так и в количественном отношениях, то оно является абсолютной величиной (истиной), которую стремятся выразить в виде определённого числового значения. Это числовое значение, полученное различными методами и средствами измерения, а также конкретными лицами, будет представлять собой только приближённую оценку рассматриваемой физической величины, так как применяемые инструменты, приборы и методики всегда будут иметь конструктивные несовершенства. Органы чувств лиц, проводящих измерения (исследования) являются также несовершенными и субъективными. Истинное значение физической величины в расчётах заменяют так называемым действительным значением, под которым понимают значение, найденное измерением и с

определённой степенью вероятности приближающееся к истинному. Точность всегда связана с отклонением результата измерения какой-либо величины от его действительного значения. Это отклонение или разность между измеренным и действительным значениями называют погрешностью (отклонением) измерения. Чем меньше погрешность, тем выше точность, и наоборот, чем ниже точность, тем больше погрешность.

В промышленном производстве изделий, в частности в машиностроении, для обеспечения их качества одно из центральных мест занимает точность деталей. Это понятие включает точность линейного и углового размера, точность формы поверхности, точность расположения поверхности, параметры макро- и микрорельефа, соответствие материала и его состояния требованиям конструкторской документации и другое, указанное в технической документации.

Точность машиностроительной продукции является показателем её качества, характеристикой одного из важнейших её свойств.

Следует различать точность производственную, достигаемую в ходе реализации производственного процесса, и точность, задаваемую конструктором в ходе проектирования производственного процесса. Эти виды точности должны соответствовать друг другу. Производственная точность формируется за счёт технологической точности процесса обработки заготовок, точности оборудования, точности технологической оснастки, точности станков, точности режущего безразмерного и размерного инструмента, точности средств измерения и других факторов производственного процесса.

Задаваемая точность выражается в виде некоторого допустимого интервала рассеяния действительных размеров, которые измеряются обоснованно выбранным измерительным инструментом. Установлено, что даже настроенные на один и тот же размер автоматические станки при обработке партии одноразмерных заготовок допускают рассеяние действительного размера детали в некотором интервале.

Величина этого интервала находится в нелинейной зависимости от линейного размера заготовок и называется допуском размера. Обозначают его латинской буквой T (от англ. *Tolerance* — допуск) с соответствующей дополнительной буквой (или индексом) для различения характера размера (например допуск отверстия — T_D , допуск вала T_d) или IT (от англ. *International tolerance* — международный допуск) без различия характера размера.

Точность размера как качество оценивается качеством допуска, который представляет собой совокупность рядов равноточных допусков для всех номинальных размеров. Этим рядам присваивают номер из 20, установленных ГОСТ 25346-82: $IT01$, $IT0$, $IT1$, $IT2$, $IT3$, $IT4$, $IT5$, $IT6$, $IT7$, $IT8$, $IT9$, $IT10$, $IT11$, $IT12$, $IT13$, $IT14$, $IT15$, $IT16$, $IT17$, $IT18$. Самый точный — $IT01$, а наименее точный — $IT18$.

Допуск размера, как правило, задаётся конструктором в ходе проектирования технологического процесса изготовления изделий. Значение действительного допуска размеров детали и его соответствие заданному конструктором может быть установлено для партии обработанных деталей на основе статистической обработки массива численных значений размеров, полученных измерением.

Каждая из пяти групп источников возникновения погрешностей зависит в свою очередь от ряда внешних и внутренних влияющих причин (факторов). К ним следует отнести:

1. Производственное оборудование (металлорежущее, прессовое и др.).
2. Технологическая оснастка и приспособления (тиски, патроны, планшайбы, упоры, призмы, делительные столы и головки, прижимы и струбцины, кондукторы, угольники и др.).
3. Обрабатывающие инструменты (режущий, штамповочный и др.).
4. Обрабатываемые заготовки (поковки, штамповки, отливки, прокат, сварные элементы и др.).
5. Средства измерения и контроля.

Каждая из пяти групп источников влияния на точность обработки зависит в свою очередь от ряда внешних и внутренних влияющих причин (факторов). К ним следует отнести:

1. Неточность изготовления.
2. Эксплуатационный износ.
3. Температурные деформации в кинематической системе деталь-инструмент-приспособление-станок (система ДИПС).
4. Упругие и остаточные деформации в системе ДИПС под действием внешних усилий (силы резания, центробежных сил, силы тяжести, вибраций и др.).
5. Упругие и остаточные деформации в системе ДИПС под действием перераспределения с течением времени внутренних напряжений и релаксации напряжений.

В процессе измерения следует отметить влияние на точность возникающей субъективной погрешности.

Перечисленные основные причины, влияющие на точность параметра, имеют систематический или случайный характер и вызывают, соответственно, систематические и случайные погрешности.

Систематические погрешности остаются постоянными или закономерно (монотонно) изменяющимися во времени. Их можно выявлять и компенсировать. К такому фактору влияния, например, можно отнести эксплуатационный износ инструмента.

Случайные погрешности предугадать, как правило, маловероятно. К факторам, обуславливающим появление случайных погрешностей, можно отнести, например, неравномерный припуск на обработку, меняющаяся или неравномерная твёрдость материала, наличие или отсутствие литейной корки и её неоднородность, наличие или отсутствие окалины на поковке и т.д.

Характер погрешностей может быть не только систематическим или случайным, но и носить переменный характер. Практически установлено, что систематические погреш-

ности могут переходить в случайные, а случайные — в систематические. Например, проявление погрешности технологической оснастки в начальный период эксплуатации имеет систематический характер, а по мере износа и затупления режущего инструмента оно переходит в случайную форму. Погрешности средств активного контроля в начале обработки заготовки имеют случайный характер, а затем из-за деформации измерительных элементов под действием измерительного усилия и вибраций становятся систематическими.

7.1.1. Характеристики размеров и показателей точности обработки. Мера точности

Поверхности. В геометрии различают поверхности плоские, вращения, эвольвентные, циклоидальные и др.

В машиностроении кроме названных поверхностей применяются сложные: ступенчатые, шлицевые, винтовые, фасонные и другие. Все они образуют две группы поверхностей: сопрягаемые (контактирующие, рабочие) и не сопрягаемые (свободные). Соединением сопрягаемых поверхностей детали собираются в узлы, а узлы в механизмы. Свободные поверхности являются конструктивно необходимыми, но не предназначенными для соединения с другими деталями или узлами. Свободные поверхности являются элементами, которые определяют эстетические и эргономические показатели качества изделий. Сопрягаемые поверхности могут быть охватывающими (внутренними) и охватываемыми (наружными). Охватывающие поверхности в машиностроении называют обобщённым термином — отверстия, а охватываемые — валы.

Размеры. Размеры выражают числовое значение физической величины — длины. Основная единица длины, как известно, метр. В машиностроении используют дробные (тысячные и миллионные) части метра — миллиметры и микрометры. Различают номинальные, действительные, предельные и средние размеры.

Номинальные размеры устанавливаются расчётами по различным критериям работоспособности (прочность, износостойкость, жёсткость и др.) или выбираются на основе метода прецедента при проектировании или в эксплуатации. Расчётное значение округляют до ближайшего числа в стандартном ряду линейных размеров (ГОСТ 6636-69), который разработан на основе рядов округлённых значений предпочтительных чисел (ГОСТ 8032-56). Номинальные размеры обозначают прописными или строчными латинскими буквами с индексами n :

D_n, L_n — для отверстий; d_n, l_n — для валов.

В соответствии с ЕСКД их проставляют на машиностроительных чертежах, они являются началом отсчёта отклонений действительных размеров от номинальных. Относительно номинальных размеров устанавливают предельные допустимые размеры.

Действительные размеры устанавливаются измерением с допустимой для используемых средств измерения погрешностью. Как правило, в машиностроении оперируют с погрешностью, выражаемой с точностью до десятых, сотых, тысячных и, реже, десятитысячных долей миллиметра. Действительные размеры обозначают следующим образом:

D_e, L_e — для отверстий; d_e, l_e — для валов.

Предельные размеры представляют собой два предельно допустимых размера, между значениями которых должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Наибольшее значение из этих двух величин называют наибольшим предельным размером, а наименьшее значение — наименьшим предельным размером. Их обозначают следующим образом:

$D_{\max}, L_{\max}$ — для отверстий наибольшего предельного размера;

$d_{\max}, l_{\max}$ — для валов наибольшего предельного размера;

$D_{\min}, L_{\min}$ — для отверстий наименьшего предельного размера;

$d_{\min}, l_{\min}$ — для валов наименьшего предельного размера.

С помощью предельных размеров оценивается точность обработки. Они ограничивают интервал (допуск) рассеяния действительных размеров и определяют и допуск обработки, и его положение относительно номинального размера.

К показателям точности размеров относят допуск размера, квалитет допуска, единицу допуска и предельные отклонения размера.

Допуск размера, как было отмечено выше, обозначается с указанием характера сопрягаемой поверхности детали и без его указания:

T_D — допуск охватывающей поверхности (отверстия);

T_d — допуск охватываемой поверхности (вала);

$IT01, IT0, IT1, IT2, \dots, IT18$ — допуск размера по соответствующему квалитету (из 20).

Допуск размера обрабатываемой детали равен разности значений её предельных размеров:

допуск отверстия — $T_D = D_{\max} - D_{\min}$;

допуск вала — $T_d = d_{\max} - d_{\min}$.

Квалитет — степень точности размера. Квалитет объединяет совокупность равноточных допусков для всех интервалов номинальных размеров.

В машиностроении используются стандартные интервалы в наиболее распространённом диапазоне до 500 мм, как: 1...3; 3...6; 6...10; 10...18; 18...30; 30...50; 50...80; 80...120; 120...180; 180...250; 250...315; 315...400; 400...500. Так как конец интервала является началом следующего, то при выборе номинального размера начальное значение интервала относят к предыдущему, а конечное значение включают в рассматриваемый интервал. То есть применяют к интервалу условие: «свыше (исключают) — до (включают)». Квалитет допуска характеризуется коэффициентом точности — a , равным определённому числу единиц допуска в зависимости от его номера:

$$T = a \cdot i,$$

где i — численное значение единицы допуска в мкм.

Единица допуска представляет собой меру точности, подобно тому, как единица физической величины является мерой измерения этой величины. Но если единица физической величины во всём интервале значений физических величин является постоянной, то единица допуска в пределах диапазона меняется по закону кубической параболы. С увеличением номинального размера единица допуска увеличивается. Объясняется это тем, что увеличение размера при обработке связано с увеличением трудоёмкости (сложности) обработки детали. Единица допуска в диапазоне размеров до 500 мм определяется по формуле:

$$i = 0,45\sqrt[3]{D_n} + 0,001D_n.$$

Здесь размер D_n берётся в миллиметрах, а значение i получают в микрометрах. Величина D_n представляет собой среднее геометрическое значение крайних значений размеров для каждого интервала:

$$D_n = \sqrt{D_n \cdot D_k},$$

где D_n — начальное значение интервала, а D_k — конечное значение интервала.

Приведённая формула устанавливает взаимосвязь допуска и номинального размера.

Для размеров свыше 500 мм до 10000 мм единицу допуска определяют по формуле: $i = 0,004D_n + 2,1$ (мкм).

В таблице 7.1 даны значения единиц допуска для интервалов размеров в диапазоне их значений до 500 мм.

Таблица 7.1

Значения единиц допуска

Интервалы, мм	Свыше — до (включительно)										
	1-3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315
Значение единицы допуска i , мкм	0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,90	3,23
											3,54
											3,89

В пределах одного интервала значение единицы допуска принимают условно неизменным, хотя фактически его величина меняется, так как зависимость точности от номинального размера носит непрерывный характер. Графически зависимость единицы допуска от номинального размера, имеющая вид кубической параболы, заменяется ступенчатой кривой. Дискретизация непрерывного ряда числовых значений размеров необходима для создания возможности составления справочных таблиц. Точное значение единицы допуска для конкретного значения размера можно определить подстановкой этого значения в формулу для i .

В таблице 7.2 даны значения коэффициентов точности a .

Таблица 7.2

Значения коэффициентов точности a

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
a	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

Рассмотрение приведённых данных в таблицах допусков приводит к заключению, что допуски в одном и том же квалитете для разных номинальных размеров различны, но равноточны, так как их единица допуска как мера точности меняется по мере увеличения или уменьшения номинального размера.

Значения допусков одинаковых номинальных размеров в разных квалитетах различны, так как зависят от числа единиц допуска (коэффициента точности) a .

Допуски точнее 5-го квалитета определяются по следующим формулам: $IT_{01} = 0,3 + 0,008D_n$; $IT_0 = 0,5 + 0,012D_n$; $IT_1 = 0,8 + 0,020D_n$; $IT_2 = \sqrt{IT_1 \cdot IT_3}$; $IT_3 = \sqrt{IT_1 \cdot IT_5}$; $IT_4 = \sqrt{IT_3 \cdot IT_5}$ (IT — в мкм; D_n — в мм).

Изложенное позволяет заключить, что разнообразие квалитетов определяет необходимость для конструктора устанавливать ту или иную точность для всех номинальных размеров. Для одного и того же квалитета точность размеров является одной и той же для всех номинальных

размеров. Различным способам обработки деталей свойственны экономически обоснованная и технологически достижимая точность. Предварительное (черновое) точение или шлифование ведётся с назначением грубых допусков и достижением грубых качеств, а чистовое точение или шлифование обеспечивает более высокую точность, т.е. качество предопределяет особенности проектирования технологического процесса. Например, отдельные виды и способы технологической обработки заготовок обеспечивают следующие качества допусков обработанной поверхности:

- горячая ковка в штампах — *IT14-IT17*;
- литьё в песчаные формы — *IT14-IT17*;
- горячая объёмная штамповка без калибровки — *IT9-IT11*;
- холодная штамповка в вырубных штампах — *IT12-IT13*;
- обтачивание однократное — *IT10-IT13*;
- обтачивание чистовое — *IT7-IT9*;
- сверление — *IT12-IT14*;
- зенкерование однократное — *IT12-IT15*;
- зенкерование двукратное — *IT10-IT11*;
- развёртывание однократное — *IT9-IT10*;
- развёртывание двукратное — *IT7-IT8*;
- фрезерование однократное — *IT12-IT14*;
- фрезерование двукратное — *IT10-IT11*;
- шлифование однократное — *IT7-IT8*;
- шлифование двукратное — *IT6-IT7*;
- суперфиниширование двукратное — *IT5-IT6*;
- хонингование двукратное — *IT5-IT6*;
- шлифование тонкое — *IT5*.

Следует отметить, что способ обработки обеспечивает также характерные для каждого способа параметры шероховатости. Доводка поверхности с последующей полировкой обеспечивает параметр шероховатости Ra , равный 0,012...0,025 мкм, а фрезерование двукратное — Ra , равный 3,2...6,3 мкм.

Предельные отклонения размеров представляют собой как показатель точности алгебраическую разность между предельными размерами и номинальным.

Разность между наибольшим предельным и номинальным размерами называется **верхним отклонением** и обозначается:

для отверстия — $ES = D_{\max} - D_n$,

для вала — $es = d_{\max} - d_n$.

Здесь ES и es — начальные буквы слов *Ecart superieur* (отклонение верхнее, фр.).

Разность между наименьшим предельным и номинальным размерами называется **нижним отклонением** и обозначается:

для отверстия — $EI = D_{\min} - D_n$,

для вала — $ei = d_{\min} - d_n$.

Здесь EI и ei — начальные буквы слов *Ecart inferieur* (отклонение нижнее, фр.).

В расчётах применяется также действительное и среднее отклонение. Действительное (*real*) отклонение представляет собой разность между действительным размером и номинальным и обозначается:

для отверстия — $E_r = D_r - D_n$,

для вала — $e_r = d_r - d_n$.

Среднее (*moyen*) отклонение представляет собой полусумму верхнего и нижнего отклонений и обозначается:

для отверстия — $E_m = (ES + EI)/2$,

для вала — $e_m = (es + ei)/2$.

7.1.2. Системы допусков и посадок и их признаки

Допуски и отклонения для наглядности очень удобно изображать графически с помощью схем. На схемах вместо вычерчивания деталей дают их условное изображение (можно без соблюдения масштаба) в виде предельных (наибольших и наименьших) контуров. При этом нижние образующие предельных контуров совмещают, а между верхни-

ми образующими контурами образуется зона рассеяния размеров — допуск (рис. 7.1). Такая предельно асимметричная схема имеет преимущество перед симметричной схемой, в которой предельные контуры располагаются симметрично относительно друг друга. Контроль годности изделий предельными калибрами легче осуществить для асимметричной схемы.

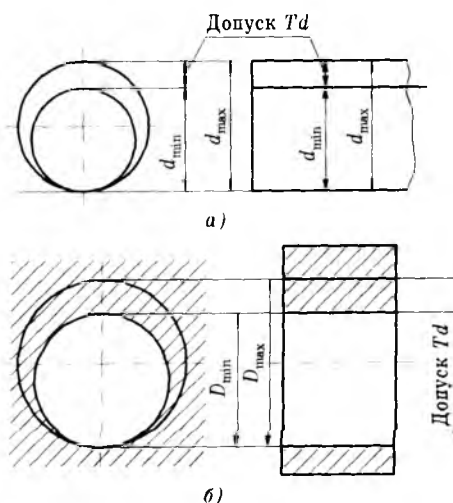


Рис. 7.1. Схема совмещённых контуров предельных валов (а) и предельных отверстий (б)

При совместном изображении на схемах контуров отверстия и вала в области верхних образующих предельных контуров проводят горизонтальную линию, соответствующую номинальному размеру. Она называется нулевой линией и обозначается $0 - 0$ (рис. 7.2).

От нулевой линии отсчитывают отклонения: положительные вверх от неё, отрицательные — вниз от неё. Размеры по своей величине меньше номинального будут обозначаться как номинальный размер с отрицательными отклонениями, а размеры больше номинального обозначаются как номинальный размер с положительными отклонениями.

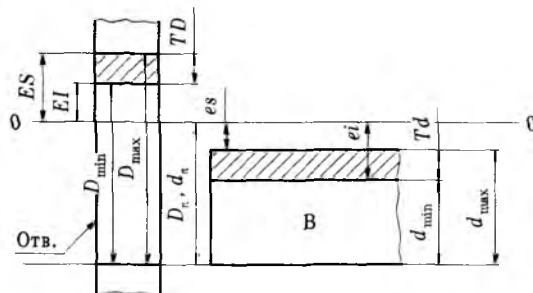


Рис. 7.2. Схема совместного изображения предельных контуров, размеров, полей допусков (TD , Td) и отклонений отверстия (Отв.) и вала (В): 0 – 0 — нулевая линия

На схеме указана заштрихованная зона допустимого рассеяния действительных размеров, которая располагается между предельными размерами (отверстия $D_{\max}$ и $D_{\min}$; вала $d_{\max}$ и $d_{\min}$) или предельными отклонениями (отверстия ES и EI ; вала es и ei). Размер данной зоны (по вертикали к нулевой линии) равен величине допуска, а сама зона называется полем допуска. Это понятие более широкое, чем допуск, так как поле допуска характеризуется величиной допуска и его положением относительно нулевой линии (номинального размера). Если допуск характеризует допустимый интервал рассеяния действительных размеров между предельными значениями, то поле допуска включает координаты его расположения относительно линии 0 – 0: или верхнее, или нижнее отклонение. При одном и том же допуске могут быть разные по расположению поля допуска.

Положение поля допуска удобно определять одним из двух отклонений, наименьшим по абсолютной величине. Таким отклонением может быть или нижнее отклонение, или верхнее, в зависимости от положения поля допуска относительно нулевой линии (выше или ниже). Такое отклонение называют основным в отличие от второго — неосновного. Таким образом, основное отклонение — это кратчайшее расстояние от нулевой линии до верхней или нижней границы допуска независимо от положения поля допуска:

выше нулевой линии при положительных отклонениях или ниже нулевой линии при отрицательных отклонениях.

Изложенное выше положение позволяет применить более простой способ графического изображения полей допусков — с помощью только одних отклонений. На таких схемах не изображаются предельные размеры (наибольший и наименьший), а нулевая линия всегда соответствует концу вектора номинального размера, который условно направлен снизу вверх. Описанная схема может быть выполнена в масштабе, быть компактной без соблюдения масштаба или быть более упрощённой, чем на предыдущем рисунке. Наиболее часто применяемая схема полей допусков отверстия и вала представлена на рисунке 7.3.

Вдоль оси $0 - 0$ поля допусков можно изображать так, как это представляется наиболее удобным для конкретного случая, то есть без ограничения ширины прямоугольника. Нулевую линию в некоторых случаях удобнее и логичнее изображать вертикально, например для шпоночного или шлицевого соединения, так как соединение деталей осуществляется по боковым сторонам шпонки или шлица. В этом случае условно можно принять увеличение размера справа налево, т.е. слева от нулевой линии отклонения будут с положительным знаком, а справа — с отрицательным.

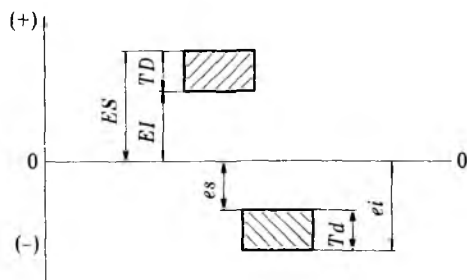


Рис. 7.3. Схема полей допусков отверстия и вала:
EI и *es* — основные отклонения (ближайшие к линии $0 - 0$);
ES и *ei* — неосновные отклонения (удалённые от линии $0 - 0$);
TD — допуск отверстия; *Td* — допуск вала

7.1.3. Определение основных отклонений

Из сказанного в предыдущем разделе следует, что основное отклонение является характеристикой поля допуска — координатой расположения допуска как интервала рассеяния действительных размеров относительно нулевой линии (номинального размера). Значение основного отклонения для конкретного размера в разных квалитетах не меняется. В связи с этим не изменяется положение границы допуска, которое определяется координатой его расположения — основным отклонением. Но изменение квалитета допуска ведёт к изменению положения противоположной границы поля допуска, относительно нулевой линии. С целью составления справочных таблиц для полей допусков и дискретизации (разбиения на интервалы) непрерывного ряда чисел ГОСТ 25346-89 предусматривает использование 28 основных отклонений для допусков валов и отверстий. Основные отклонения обозначаются одной или двумя буквами латинского алфавита: прописными (*A, B, C, CD, D, E, EF* и т.д.) для отверстий и строчными (*a, b, c, cd, d, e, ef* и т.д.) для валов (рис. 7.4). Абсолютная величина основного отклонения зависит от величины номинального размера, находящегося в соответствующем интервале. Эти значения вычислены по принятым эмпирическим формулам и представлены в таблицах.

Исходными при построении системы допусков были приняты основные отклонения валов. Основные отклонения отверстий, как правило, равны по значению и противоположны по знаку. Исключение составляют основные отклонения отверстий *J, K, M, N* и валов *j, k*, которые имеют разные значения при одинаковых номинальных значениях в разных квалитетах. Поэтому на рисунке 7.4 поля допусков разделены на части, которые на разных уровнях обозначают начало поля допуска (границу) в разных группах квалитетов.

Числовые значения основных отклонений отверстий рассчитывают, применяя общее или специальное правило

(на практике, как правило, используют готовые таблицы). Для того чтобы использование таблиц не вызывало вопросов, ниже раскрывается смысл применения специального правила. Общее правило заключается в равенстве по абсолютной величине основных отклонений и в симметричном расположении их на общей схеме. В соответствии с общим правилом:

- положительные отклонения EI допусков отверстий равны верхним отклонениям $(-es)$ допусков валов с отрицательным знаком (отклонения $A-H$);
- отрицательные отклонения ES допусков отверстий равны нижним отклонениям $(-ei)$ допусков валов с отрицательным знаком (отклонения $K-ZC$).

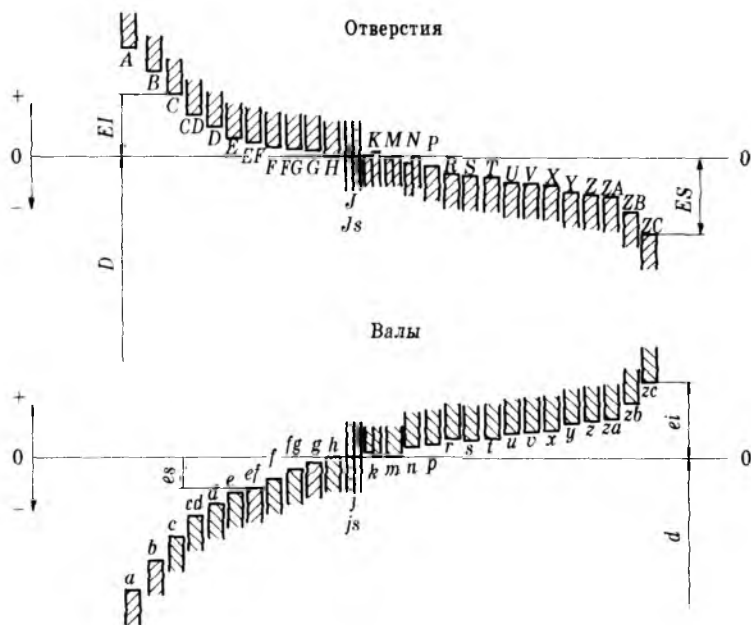


Рис. 7.4. Схема расположения и обозначения основных отклонений отверстий и валов:
 H — основное отклонение основного отверстия;
 h — основное отклонение основного вала

Из общего правила для размеров свыше 3 до 500 мм сделаны исключения. Например, основное отклонение N отверстия равно 0, начиная с 9-го качества.

Специальное правило действует для интервалов размеров свыше 3 мм: для отверстий с основными отклонениями J , K , M и N допусков точностью от $IT3$ до $IT8$ качества и для отверстий с основными отклонениями от P до ZC допусков точностью от $IT3$ до $IT7$ качества. По специальному правилу $ES = -ei + \Delta$, где величина Δ равна разности $IT_n - IT_{n-1}$ между величинами допусков рассматриваемого качества и ближайшего более точного качества при соединении деталей разной точности. Специальное правило необходимо для того, чтобы разные системы сочетания валов и отверстий обеспечивали бы один и тот же результат, например, при создании прочного соединения с натягом.

Таким образом, основные отклонения необходимы для образования разнообразия полей допусков путём сочетания их с допусками разных качеств. Обозначение поля допуска в соответствии с этим состоит из буквенного обозначения основного отклонения и цифры — номера качества. Например, поля допусков валов могут обозначаться так: $h6$, $d10$, $s7$, $js6$, а одноимённые поля допусков отверстий — $H6$, $D10$, $S7$, $Js6$. Полное обозначение, например, размера диаметра состоит из символа диаметра, его числового значения и обозначения поля допуска с указанием отклонений:

$$\varnothing 50H6 (+0,016); \varnothing 50h6 (-0,016); \varnothing 50j6 (\pm 0,008).$$

Неполное обозначение не включает указание отклонений: $\varnothing 50H6$; $\varnothing 50h6$.

По основному отклонению и величине допуска определяют второе предельное отклонение (не основное), ограничивающее интервал рассеяния действительных размеров. Если основным отклонением является верхнее, то нижнее отклонение находят по формуле:

$EI = ES - IT$ — для отверстия;

$ei = es - IT$ — для валов.

Если основным отклонением является нижнее, то верхнее отклонение находят по формуле:

$ES = EI + IT$ — для отверстия;

$es = ei + IT$ — для валов.

В международной системе допусков и посадок принципиально допускаются любые сочетания основных отклонений и квалитетов допусков. Но не все возможные сочетания имеют технический смысл, так как это привело бы к усложнению инструментального производства. Поэтому устанавливают отборы полей допусков, включающие основной и дополнительный ряды полей допусков в четырёх диапазонах номинальных размеров: до 1 мм, от 1 мм до 500 мм, свыше 500 мм до 3150 мм и свыше 3150 мм до 10000 мм. Для размеров от 1 мм до 500 мм установлено 81 поле допуска для валов и 73 поля допуска для отверстий, используемых в соединениях деталей. Эти поля допусков приводятся в справочниках. Из основного ряда выделяют ещё более узкий отбор предпочтительных полей допусков, рекомендуемых для первоочередного применения. Они на 90...95 % обеспечивают применение посадок в машиностроении и позволяют сократить номенклатуру размерного инструмента и предельных калибров для контроля размеров. В диапазоне размеров от 1 до 500 мм таких полей допусков установлено для валов 16, а для отверстий 10.

Российская Федерация как член международной организации по стандартизации (ISO) использует единую для всех членов организации ISO систему допусков и посадок для соединений деталей.

Следует отметить, что в отечественном машиностроении до настоящего времени используются получившие распространение поля допусков $h8$ и $d11$, не входящих в группу предпочтительных, установленных стандартом ИСО Р 1829.

7.1.4. Посадки. Методика построения посадок

По общепринятому определению посадкой называют характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нём зазоров или натягов. При этом все параметры натягов относятся к размерам соединяемых деталей до сборки. После сборки посадка характеризуется наличием разъединённых или соединённых контактных поверхностей с возникновением во втором случае в деталях деформаций той или иной величины.

Зазор S характеризуется разъединёнными контактными поверхностями и представляет собой положительную разность размеров отверстия D и вала d : $S = D - d$.

Натяг N характеризуется соединёнными контактными поверхностями и деформацией деталей после сборки и представляет собой положительную разность размеров вала d и отверстия D до сборки: $N = d - D = -(D - d) = -S$. Охватываемая деталь (вал) подвергается деформации сжатия, а охватываемая деталь (втулка) — деформации растяжения.

Из выражения для N следует, что натяг можно считать отрицательным зазором, а зазор — отрицательным натягом.

В зависимости от расположения полей допусков отверстия и вала на их схемах, различают три группы посадок: с зазорами, с натягами и переходные. Эти три группы посадок удобно в экономическом и технологическом отношении получать при неизменном расположении поля допуска какой-либо одной детали — отверстия или вала. Такая деталь называется основной. Характер посадки получают смещением поля допуска другой детали относительно основной. Разнообразие посадок, получаемое сочетанием поля допуска основной детали с полями допусков не основной детали, образует систему допусков и посадок, носящей её имя: **система отверстия или система вала**.

Основное отверстие имеет допуск в 20 качествах с основным отклонением (нижним EI) H и не основным (верхним ES) с положительным знаком «+» (рис. 7.4).

Основной вал имеет допуск в 20 квалитетах с основным отклонением (верхним es) h и не основным (нижним ei) с отрицательным знаком «-» (рис. 7.4).

Схемы полей допусков основных деталей представлены на рисунке 7.5.

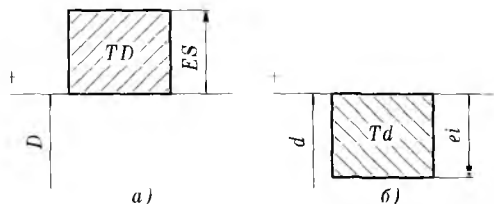


Рис. 7.5. Схема полей допусков основных деталей:
а — основного отверстия; б — основного вала

7.1.5. Посадки с зазором

Посадки с зазором характеризуются предельными значениями — наибольшим S_{max} и наименьшим S_{min} предельными зазорами. Их определяют из соотношений:

$$S_{max} = D_{max} - d_{min} = (D_n + ES) - (d_n + ei) = ES - ei;$$

$$D_n = d_n.$$

$$S_{min} = D_{min} - d_{max} = (D_n + EI) - (d_n + es) = EI - es.$$

К посадкам с зазором относят также посадку, у которой $S_{min} = 0$ и поле допуска отверстия, как и у всех посадок этой группы, располагается над полем допуска вала. Такую посадку образует сочетание полей допусков основных деталей. Схемы посадок с зазорами в системе вала и в системе отверстия представлены на рисунке 7.6. Поле допуска основной детали имеет основное отклонение равное нулю. У основного вала $es = 0$, а у основного отверстия $EI = 0$.

Так как величины зазоров имеют предельный характер, то рассеяние зазоров будет находиться в некотором

интервале, который представляет собой допуск зазора TS . Он равен разности предельных значений зазора:

$$TS = S_{\max} - S_{\min} = (ES - ei) - (EI - es) = TD + Td.$$

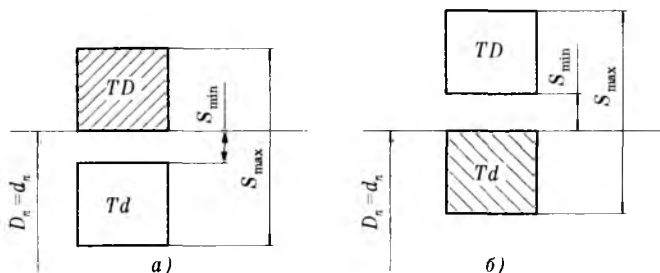


Рис. 7.6. Схема посадки с зазором:

a — в системе отверстия (TD — допуск основного отверстия с отклонениями: $0, +$); *б* — в системе вала (Td — допуск основного вала с отклонениями: $0, -$)

Отсюда следует, что допуск зазора равен сумме допусков деталей соединения.

А наибольший предельный зазор равен:

$$S_{\max} = S_{\min} + TD + Td.$$

В системе отверстия зазоры получают сочетанием основного отверстия, имеющего поле допуска с основным отклонением H , с валами, допуски которых имеют основные отклонения от a до h . Другими словами отклонения ($a...h$) — это основные отклонения допусков не основных валов за исключением отклонения h , относящегося к основному валу.

В системе вала зазоры получают сочетанием основного вала, имеющего поле допуска с основным отклонением h , с отверстиями, допуски которых имеют основные отклонения от A до H .

Системы посадок в машиностроении имеют равное значение, но предпочтительнее система отверстия, так как её применение уменьшает номенклатуру дорогого размерного инструмента для отверстий. Разнообразие посадок в системе отверстия получают на основе обработки валов шлифо-

вальными кругами, которая является более экономичной в сравнении с обработкой отверстий. Система вала предпочтительнее для длинных валов, сопрягаемых с несколькими деталями. Кроме того, система вала может упростить конструкцию узла.

7.1.6. Посадки с натягом

Посадки с натягом до сборки характеризуются предельными величинами — наибольшим $N_{\max}$ и наименьшим $N_{\min}$ предельными натягами. Их определяют из соотношений:

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = (d_n + es) - (D_n + EI) = es - EI;$$

$$d_n = D_n.$$

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = (d_n + ei) - (D_n + ES) = ei - ES.$$

У всех посадок этой группы, поле допуска отверстия располагается под полем допуска вала. После сборки в деталях могут иметь место значительные упруго-пластические деформации сжатия и растяжения из-за образования плотно соединённых контактных поверхностей. Схемы посадок с натягами в системе вала и в системе отверстия представлены на рисунке 7.7.

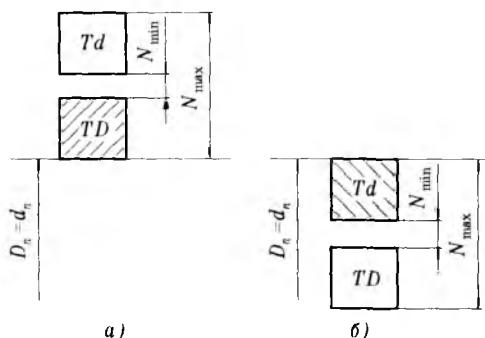


Рис. 7.7. Схема посадки с натягом:

a — в системе отверстия (*TD* — допуск основного отверстия с отклонениями: 0, +); *б* — в системе вала (*Td* — допуск основного вала с отклонениями: 0, -).

Так как величины натягов имеют рассеяние в некотором интервале, то для них применимо понятие допуска, как и для действительного размера. Допуск посадки, то есть допуск натяга TN , равен разности его предельных значений:

$$TN = N_{\max} - N_{\min} = (es - EI) - (ei - ES) = Td + TD.$$

Отсюда допуск натяга, как и допуск зазора, равен сумме допусков деталей соединения.

Наибольший предельный натяг равен:

$$N_{\max} = N_{\min} + Td + TD.$$

В системе отверстия натяги получают сочетанием основного отверстия, имеющего поле допуска с основным отклонением H , с валами, допуски которых имеют основные отклонения от p до zc . Другими словами отклонения ($p...zc$) — это основные отклонения допусков не основных валов, за исключением отклонения h , относящегося к основному валу.

В системе вала натяги получают сочетанием основного вала, имеющего поле допуска с основным отклонением h , с отверстиями, допуски которых имеют основные отклонения от P до ZC .

7.1.7. Переходные посадки

Группа переходных посадок занимает промежуточное положение между посадками с зазорами и с натягами. В процессе сборки деталей с переходными посадками возможно появление соединений с разъединёнными контактными поверхностями и с соединёнными. Во втором случае в деталях имеют место небольшие упругие деформации: в охватывающей детали — деформации растяжения, а в охватываемой — деформации сжатия. При графическом изображении переходных посадок их отличительным признаком является частичное или полное перекрытие полей допусков отверстия и вала. Схемы переходных посадок в системе отверстия и в системе вала показаны на рисунке 7.8.

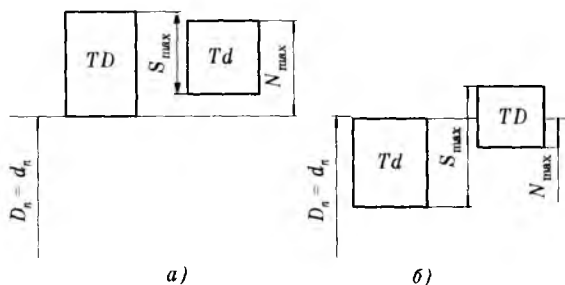


Рис. 7.8. Схемы переходных посадок:
***a* — в системе отверстия (*TD* — допуск основного отверстия с отклонениями: 0, +); *б* — в системе вала (*Td* — допуск основного вала с отклонениями: 0, −)**

Переходные посадки в системе отверстия получают сочетанием основного отверстия с основным отклонением допуска H и не основных валов, допуски которых имеют основные отклонения j, js, k, m, n .

В системе вала переходные посадки получают сочетанием основных деталей: основного вала с основным отклонением допуска h и не основных отверстий с основными отклонениями допусков J, Js, K, M, N . Предельные зазоры или натяги у переходных посадок определяются по тем же формулам, что и для зазоров или натягов. Но при расчётах наименьшие предельные зазоры или натяги всегда будут получаться с отрицательным знаком. Поэтому допуск переходной посадки $ТП$ будет равен сумме наибольшего зазора и наибольшего натяга:

$$ТП = S_{\max} - S_{\min} = N_{\max} - N_{\min} = S_{\max} + N_{\max} = N_{\max} + S_{\max}.$$

Переходные посадки применяют в соединениях, где к центрированию деталей предъявляют повышенные требования.

7.2. Средства измерений и их выбор

Все средства измерений (СИ) в соответствии с их назначением можно разделить на две группы: универсальные и специализированные. Конкретные универсальные СИ име-

ют предпочтительные области применения: для наружных и внутренних измерений, для измерения параметров отклонений формы и расположения поверхностей. Специализированные СИ имеют чаще всего узкое назначение.

Универсальными измерительными средствами называют такие, которые позволяют проводить измерения с результатами в широких пределах на объектах с широкой номенклатурой наименований. Универсальность измерительных приборов в машиностроении наиболее ярко проявляется при проведении измерений линейных и угловых величин. Здесь принято деление всех измерительных средств измерения и контроля на три группы: меры, измерительные приборы и измерительные системы (установки).

Мера предназначена для хранения и воспроизведения единицы ФВ или её частей. Мера может быть телом, веществом, устройством и т.д. Меры конструктивно изготавливают как самостоятельные СИ, так и встроенные компоненты СИ. Самостоятельные меры, которые воспроизводят величину одного размера, называются однозначными, а воспроизводящие непрерывный ряд размеров — многозначными. Однозначные меры используются порознь или комплектуются в виде наборов. Наборы, конструктивно объединённые в устройство, образуют магазины мер. Примерами мер может служить аккумулятор (в качестве стабильного источника напряжения), допускающий большую нагрузку, генератор стабильной частоты, концевые меры длины, химический нормальный элемент и т.д. Любое СИ содержит в себе меру. Меры позволяют хранить и воспроизводить всё многообразие единиц и шкал измерений, характеризующих как количественные, так и качественные свойства. Однако следует иметь в виду, что не все единицы ФВ реализованы в качестве мер. Отсутствуют меры секунды и единиц абсолютных шкал.

В качестве мер в машиностроении наиболее часто используют плоскопараллельные концевые меры длины и калибры. Первые представляют собой цилиндрический стержень или прямоугольный параллелепипед (плитку), рассто-

яние между двумя точно доведёнными поверхностями которых является производной величиной единицы длины и используется в качестве рабочего размера. Очень малое отклонение от плоскостности и малое значение параметров шероховатости поверхности обуславливает притираемость плиток, т.е. образование за счёт сил молекулярного взаимодействия достаточно прочного блока сцепленных плиток при надвигании их с некоторым усилием друг на друга. Наборы плиток позволяют составлять блоки плиток с требуемым размером между параллельными сторонами. Размером плитки или блока считают их срединный размер, т.е. расстояние между серединами плиток в точках пересечения диагоналей притираемых поверхностей.

По точности изготовления новые концевые меры длины делят на 5 классов точности: 00, 0, 1, 2, 3. После ремонта плитки могут быть охарактеризованы ещё двумя классами точности — 4, 5. Самый точный класс — 00. Класс точности характеризует степень приближения срединного размера к номинальному размеру. Например, концевая мера длины класса точности 00 размером 80 мм имеет отклонение от номинального значения $\pm 0,14$ мкм, а класса точности 5 — ± 10 мкм. Отклонение от плоскопараллельности у этой же плитки будет равно 0,07 мкм (класс точности 00) и 0,8 мкм (класс точности 5). Кроме класса точности концевые меры длины характеризуются разрядом. Он характеризуется предельной погрешностью конкретной концевой меры при измерении расстояния между параллельными сторонами в середине плитки и допускаемым отклонением от плоскопараллельности. Например, допускаемая погрешность измерения плитки размером 80 мм составляет не более $\pm 0,04$ мкм для первого разряда и $\pm 1,0$ мкм для пятого разряда. Допускаемое отклонение от плоскопараллельности для этой же плитки будет составлять не более 0,12 мкм для первого разряда и не более 0,8 мкм для пятого разряда.

Калибры представляют собой средства контроля нахождения проверяемого размера в пределах границ установлен-

ного допуска. Калибры для контроля диаметра и формы отверстия называются пробками, а калибры для контроля диаметра и формы вала называются скобами. По методу контроля в соответствии с положениями ГОСТ 27284-87 различают нормальные и предельные калибры. Нормальные калибры представляют собой материальное тело, воспроизводящее заданный линейный и угловой размер и форму сопрягаемой с ним поверхности контролируемой части изделия. К нормальным калибрам относят шаблоны, щупы и конусные калибры (пробки и втулки). Шаблоны применяют способом наложения на контролируемую поверхность с последующей проверкой просвета между контурами шаблона и детали. В машиностроении применяют в качестве шаблона резьбомеры для определения шага резьбы и галтельные шаблоны. Щупы представляют собой пластины (лепестки) разной толщины (0,02...1 мм), применяемые, например, для выставления зазоров. Конусные калибры контролируют точность конических отверстий и валов по изменению взаимного положения рисок, т.е. базорасстояния, или по пятну контакта, оставляемому контрастной краской, нанесённой на поверхность калибра. Толщина слоя краски составляет 2...5 мкм. Предельные калибры являются прототипами контролируемой (сопрягаемой с калибром) поверхности, размеры которых задаются по предельным размерам детали (наибольшему и наименьшему).

К универсальным измерительным средствам относят штриховые меры, нониусные, микрометрические, индикаторные, рычажные, оптико-механические и оптические, пневматические, автоматические, электрифицированные и электронные, комбинированные и другие многочисленные измерительные приборы и инструменты.

Измерительный прибор представляет собой устройство, вырабатывающее сигнал измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателей.

Измерительная система состоит из совокупности функционально связанных средств измерения, средств вычислительной техники, и вспомогательных устройств, соединён-

ных между собою каналами связи, предназначенными для выработки сигналов измерительной информации об измеряемых физических величинах объекта в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и использования в автоматизированных системах управления.

При выборе СИ учитывают совокупность метрологических, эксплуатационных и экономических показателей, серийность производства деталей, стоимость и надёжность приборов, метод измерения, время измерения, массу и габаритные размеры, режим работы СИ и др. К метрологическим показателям относят цену деления, погрешность измерения, пределы измерений, измерительное усилие и другие, нормируемые и ненормируемые, характеристики измерений.

На отклонение результата измерения от истинного значения оказывает влияние целый ряд факторов, создающих суммарный эффект. Таких факторов в зависимости от метода измерения, особенностей объекта измерения и условий измерения может быть очень много. Но не все они в одинаковой степени оказывают влияние на общую погрешность измерения. В общем случае на погрешность средства измерений влияние оказывают:

- погрешности установки объекта измерения в СИ или установки СИ на объект измерения (Δ_k);
- погрешности измерительного устройства ($\Delta_{из}$) и передаточных элементов (Δ_n) при нормированных условиях;
- погрешности установочных мер, используемых для настройки измерительных средств (Δ_m);
- температурные колебания, возникающие от комплекса причин, которые обобщены в понятие «температурный режим» (Δ_t);
- упругие деформации от силового воздействия элементов крепления объекта измерения в СИ и колебания измерительных усилий средства измерений ($\Delta_{кк}$);
- нарушения первичной настройки измерительных средств (Δ_n);
- шероховатость измеряемой поверхности ($\Delta_{ш}$);

- факторы, связанные с конструктивными особенностями измерительных средств;
- факторы, зависящие от оператора (субъективные погрешности) и др.

Разделение погрешности измерения на отдельные составляющие является условной. Ряд факторов (базирование, настроечные элементы, температурные, деформации и т.п.) может быть отнесён как к погрешности измерительных средств, так и к условиям проведения измерений. Поэтому оценка погрешности измерения должна выполняться комплексно, учитывая и саму погрешность измерения и условия измерений, при которых она должна проявиться.

Таким образом, точность показаний средства измерений определяется суммарной погрешностью, составляющими которой являются систематические и случайные погрешности. Составляющие суммарной погрешности могут быть найдены в справочной литературе или экспериментальным путём. Суммарную погрешность измерения определяют по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\kappa}^2 + \Delta_{\text{из}}^2 + \Delta_{\text{п}}^2 + \Delta_{\text{м}}^2 + \Delta_{\text{т}}^2 + \Delta_{\text{кк}}^2 + \Delta_{\text{ш}}^2 + \Delta_{\text{н}}^2}.$$

Такой характер формулы объясняется тем, что векторный вид большинства составляющих погрешностей неизвестен. Квадраты погрешностей исключают возможность взаимного их уничтожения. Корень квадратный из суммы квадратов погрешностей приближает расчётное значение к действительной величине.

Суммарная погрешность может составлять от 8 до 30 % допуска контролируемого параметра. Её величина зависит от назначения изделия и может составлять: для ответственных изделий — 8 %, для менее ответственных — 12,5 и 20 %, для остальных — 25...30 %.

Средство измерений выбирают исходя из допустимой погрешности измерения $[\Delta]$ и расчётной суммарной погрешности Δ_{Σ} .

Допустимые погрешности измерения устанавливает ГОСТ 8.051-81 в зависимости от номинальных размеров и

допусков на изготовление измеряемого параметра. Приняты следующие допустимые погрешности измерения: для допусков: $[\Delta] = 0,35T$, для допусков $IT6...IT7$ $[\Delta] = 0,32T$, для допусков $IT8...IT9$ $[\Delta] = 0,25T$, для допусков $IT10$ и грубее $[\Delta] = 0,20T$, где T — допуск контролируемого параметра, задаваемый конструктором. Условие правильности выбора средства измерений должно соответствовать неравенству

$$\Delta_{\Sigma} \leq [\Delta].$$

Если это условие не выполняется, необходимо либо пересмотреть составляющие суммарной погрешности измерения и принять меры к их снижению, либо предусмотреть замену средства измерений или его элементов.

На практике для выбора СИ используют предельные погрешности измерительных средств Δ_r , которые приводятся в общемашиностроительных руководящих материалах РДМУ-98-77. Условие выбора измерительного средства должно соответствовать неравенству:

$$\Delta_r \leq [\Delta].$$

Например, при измерении вала $\varnothing 40f7 \left(\begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,050 \end{smallmatrix} \right)$ выбор

измерительного средства проводится следующим образом. По таблице допустимая погрешность измерения составляет 0,007 мкм для интервала измерений 30...50 мм. Приведённому выше неравенству соответствует предельная погрешность рычажной скобы, которая равна $\Delta_r = \pm 0,005$ мкм для интервала измерений 25...50 с ценой деления 0,002 мм.

Допустимые погрешности измерения $[\Delta]$, установленные стандартом, являются наибольшими, включающими случайные погрешности, погрешности показаний приборов, установочных мер, температурные погрешности, погрешности базирования детали при измерении и т.д.

Экономические показатели средств измерений занимают важное место в процедуре выбора и его обоснования. К ним относят стоимость средства измерений, продолжительность его работы до ремонта, срок окупаемости, время

настройки и время, затраченное на измерение, квалификация оператора и др.

7.3. Контрольные вопросы

1. Что представляет собой точность размеров при обработке заготовки?
2. Что называют основным отклонением поля допуска?
3. Чем отличается допуск от поля допуска?
4. Какие бывают размеры и отклонения размеров?
5. Что такое квалитет?
6. Что является мерой точности линейных размеров?
7. Какой квалитет является самым точным, а какой самым грубым?
8. Как обозначается допуск детали?
9. Какие признаки свойственны переходной посадке?
10. Как рассчитываются предельные зазоры или натяги?
11. Какие системы посадок применяются в машиностроении?
12. Что представляет собой основная деталь в той или иной системе посадок?
13. Как влияют методы обработки заготовок на точность деталей?
14. Какие средства измерений применяются в машиностроении?
15. Чем отличаются универсальные СИ от специализированных?
16. Что представляет собой допустимая погрешность измерения?
17. Что представляет собой предельная погрешность СИ?
18. Как определяется суммарная погрешность измерения?
19. Каким образом осуществляется выбор измерительного СИ?
20. Какие составляющие суммарной погрешности принимаются во внимание при выборе измерительного средства?

ГЛАВА 8. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

8.1. Шероховатость поверхности и её влияние на качество поверхности

Качество обработанной поверхности оценивается такими характеристиками, как шероховатость (микрорельеф поверхности), упрочнение поверхностного слоя, остаточные напряжения, характер структуры поверхностного слоя, отклонения формы и расположения реальной поверхности от номинальной. Упрочнение поверхностного слоя характеризуется степенью упрочнения и глубиной упрочнённого слоя. Остаточные напряжения характеризуются величиной и знаком, определяющим сжатие или растяжение поверхностного слоя. В совокупности все показатели качества поверхности в значительной степени влияют на эксплуатационные свойства, надёжность и долговечность изделий.

Чаще всего качество поверхности характеризуется её шероховатостью, которая наиболее легко поддаётся непосредственным измерениям в сравнении с другими показателями качества.

Микрорельеф поверхности создаётся совокупностью множеств отклонений реальной поверхности от номинальной (идеально гладкой) в геометрическом отношении. Эти отклонения образуют множество поверхностных микронеровностей (микровыступов и микровпадин), совокупность которых создаёт в пределах рассматриваемой длины (площади) состояние поверхности, которое называют шероховатостью. Параметры шероховатости влияют на реальную площадь контакта сопрягаемых поверхностей в соединениях деталей. Так как в месте контакта имеют место упругие и пластические деформации, протекают сложные физико-химические и физико-механические процессы, то параметры шероховатости совместно с физико-механическими параметрами поверхностного слоя определяют эксп-

дуатационные показатели: прочность, надёжность и долговечность. Другими словами, характеристики поверхностного слоя следует делить на геометрические (шероховатость, волнистость) и физико-механические (прочность, твёрдость, структура, напряжения и др.). Шероховатость поверхности деталей является результатом процесса их обработки. Под геометрическими характеристиками понимают макроотклонение, волнистость, шероховатость и субшероховатость.

К макроотклонениям поверхности 1 (рис. 8.1) условно относят неровности высотой примерно $10^{-2} \dots 10^3$ мкм на всей её длине или ширине. К ним можно отнести конусность, бочкообразность и седлообразность.

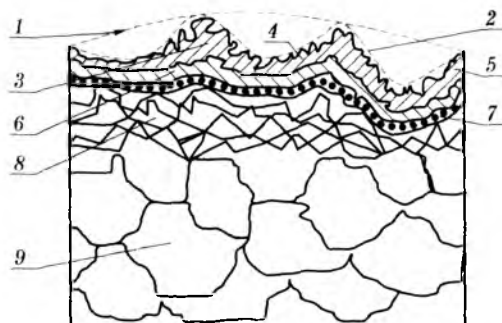


Рис. 8.1. Схема поверхностного слоя:

- 1 — макроотклонение; 2 — волнистость; 3 — шероховатость;
- 4 — субшероховатость; 5 — адсорбированная зона;
- 6 — зона окислов; 7 — граничная зона материала;
- 8 — деформированная структура; 9 — основной материал

Волнистость поверхности 2 представляет собой совокупность неровностей высотой $10^{-2} \dots 10^3$ мкм с шагом, превышающим базовую длину, используемую для измерения параметров шероховатости.

Шероховатость 3 представляет собой совокупность неровностей высотой $10^{-2} \dots 10^3$ мкм с шагом, не превышающим базовую длину, используемую для её измерения.

Субшероховатость 4 представляет собой микронеровности высотой $10^{-3} \dots 10^{-2}$, которые располагаются на микронеровностях, образующих в совокупности шероховатость. Изложенные характеристики показаны на рисунке 8.1.

Верхняя зона 5 толщиной около 100 мкм состоит из молекул атомов органических и неорганических веществ (вода, масло, растворители и др.), адсорбированных из окружающей среды.

Зона 6 толщиной $10^{-3} \dots 1$ мкм состоит из плёнки оксидов металла.

Граничная зона 7 толщиной, равной нескольким межатомным расстояниям, представляет активированный слой материала.

Зона 8 представляет деформированную структуру с остаточными напряжениями.

8.2. Нормируемые параметры шероховатости и их выбор

Шероховатость может характеризоваться свыше, чем 20 геометрическими параметрами. Из них в Российской Федерации стандартизованы для практического использования шесть, в Германии — шесть, в Италии — семь, в Великобритании — два, во Франции, Швейцарии, Венгрии и Дании — десять, в Швеции и Чехии — три, в США — два, в Японии и Нидерландах — один.

ГОСТ 2789-73 в Российской Федерации предусматривает три вертикальных (высотных) параметра и три горизонтальных (два шаговых и один относительный). К вертикальным параметрам относят:

Ra — среднее арифметическое отклонение профиля;

Rz — высота неровностей профиля по десяти точкам;

Rmax — наибольшая высота профиля.

К горизонтальным параметрам относят:

Sm — средний шаг неровностей профиля;

S — средний шаг местных выступов профиля;

t_p — относительная опорная длина профиля.

Представление о реальном профиле поверхности с микронеровностями дают профилограммы (рис. 8.2), полученные на профилографах при движении алмазной иглы, контактирующей с исследуемой поверхностью, или фотографированием на специальном микроскопе. Масштабы увеличения по вертикали и горизонтали, как правило, различны, так как увеличение по вертикали составляет от 100 до 200000, а по горизонтали — от 10 до 10000.

Числовые значения параметров шероховатости поверхности определяют от единой базы, в качестве которой принимают среднюю линию профиля. Она имеет номинальную форму профиля и проходит так, чтобы в пределах базовой длины l среднее квадратическое отклонение (стандартное отклонение) профиля от неё было бы минимальным.

Средним арифметическим отклонением профиля Ra называют среднее значение расстояний $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ от точек измеренного профиля до средней линии, взятых по абсолютному значению:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|.$$

Среднее квадратическое отклонение профиля от средней линии определяют по формуле:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx} \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}.$$

Высота неровностей профиля Rz по десяти точкам представляет собой сумму средних абсолютных отклонений точек пяти наибольших максимумов и пяти наибольших минимумов, находящихся в пределах базовой длины:

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{i \max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i \min}| \right),$$

где $H_{i \max}$ и $H_{i \min}$ определяются относительно средней линии. Высота неровностей Rz может быть определена также по формуле:

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 h_{i \max} + \sum_{i=1}^5 h_{i \min} \right),$$

где $h_{i \max}$ и $h_{i \min}$ определяются относительно произвольной прямой, параллельной средней линии и не пересекающей профиль.

Наибольшая высота неровностей профиля $R_{\max}$ представляет собой расстояние между линией выступов и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Линией выступов (впадин) профиля является линия, эквидистантная средней линии и проходящая через высшую (низшую) точку профиля в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей S_m представляет среднее значение шага неровностей по средней линии m в пределах базовой длины. Его величина определяется как расстояние между одноимёнными сторонами соседних неровностей. Средний шаг неровностей определяют по формуле:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{m_i}.$$

Здесь S_{m_i} равен отрезку средней линии, заключённому между точками пересечения смежных выступа и впадины профиля со средней линией. В пределах среднего шага будут находиться три точки пересечения средней линии и профиля.

Средний шаг неровностей профиля по вершинам S представляет среднее значение расстояний между вершинами в пределах базовой длины. Он определяется по формуле:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где S_i равен отрезку средней линии, заключённому между проекциями на неё наивысших точек двух соседних местных выступов профиля.

Относительная опорная длина профиля t_p представляет собой отношение суммы длин отрезков b_i (η_p), отсекаемых в пределах базовой длины на выступах линией, эквидистантной средней линии, к базовой длине. Относительную опорную длину профиля определяют по формуле:

$$t_p = \left(\frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i \right) 100 \% = (\eta_p / 1) \cdot 100 \% .$$

Относительная опорная длина профиля t_p характеризует фактическую общую опорную площадь в месте контакта, от которой в большой степени зависят многие эксплуатационные характеристики: износостойкость подвижных соединений, прочность и надёжность неподвижных соединений, полученных при сборке под прессом, и др.

Опорная длина профиля η_p , являющаяся суммой длин отрезков b_i в пределах базовой длины, определяется на уровне сечения p на выступах профиля линией, эквидистантной средней линии:

$$\eta = \sum_{i=1}^n b_i .$$

где n — число отсекаемых отрезков в пределах базовой длины.

Уровень p сечения профиля представляет собой отношение расстояния P между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов, и R_{max} :

$$p = \frac{P}{R_{max}} 100 \% .$$

Приведённые параметры шероховатости представлены на рисунке 8.2.

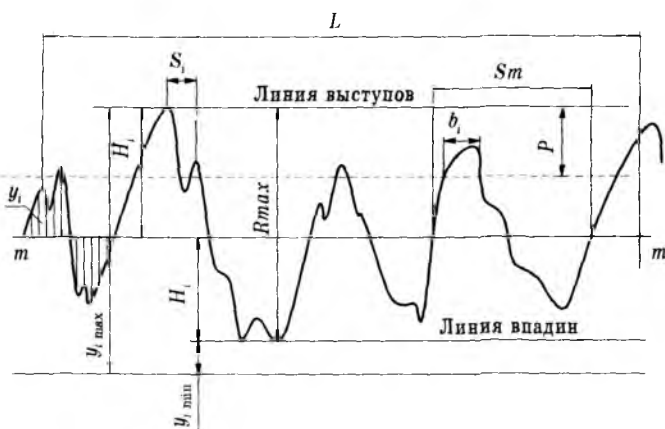


Рис. 8.2. Профилограмма и основные параметры шероховатости поверхности

8.3. Приборы для измерения и контроля шероховатости поверхности

В связи с тем, что шероховатость поверхности оказывает большое влияние на эксплуатационные показатели деталей, узлов и механизмов, на практике существует большое разнообразие методов и средств оценки параметров микронеровностей поверхности. Наиболее распространены методы визуальной оценки, контактный и бесконтактный профильные методы. В приборах контактного измерения параметров микронеровностей реализуется последовательное преобразование информации об их профиле. В приборах бесконтактного измерения реализуется одновременное преобразование информации о профиле микронеровностей.

При визуальной оценке контролируемую поверхность сравнивают с образцами шероховатости поверхности, которые в соответствии с ГОСТ 9378-93 представляют часть цилиндрической выпуклой, вогнутой или плоской поверхности. В стандарте установлены ряды номинальных значений параметров шероховатости Ra в зависимости от спосо-

ба обработки и значений базовой длины для их оценки. Например, шлифование обеспечивает параметр Ra в пределах от 0,050 до 3,2 мкм при базовой длине от 0,25 до 2,5 мм, а точение и растачивание — от 0,4 до 12,5 мкм при базовой длине 0,8...2,5 мм, полирование — от 0,006 до 0,2 мкм при базовой длине 0,08...0,8 мм. К приборам контактной оценки шероховатости относят профилографы, профилометры и профилографы-профилометры.

К бесконтактным профильным приборам относят приборы светового сечения, теневой проекции, микроинтерферометры, растровые приборы, электронные и сканирующие электронные микроскопы.

Использование образцов шероховатости даёт удовлетворительные результаты для контроля относительно грубых поверхностей ($Ra = 0,6...0,8$ мкм). Точность оценки можно повысить применением инструментальных луп или микроскопов сравнения.

Профилометр представляет собой контактный (щуповый) электромеханический прибор, предназначенный для измерения параметров микронеровностей. Приборы подобного типа, предназначенные для записи информации о форме микронеровностей на определённом участке, называются профилографами. Профилометр-профилограф объединяет возможности того и другого прибора в одном устройстве.

В зависимости от назначения различают приборы для лабораторно-исследовательских работ, для внутрицеховых измерений при проведении межоперационного контроля и для внутрицеховых измерений при контроле окончательно обработанных поверхностей.

Сущность контактного метода заключается в том, что алмазная игла с помощью привода перемещается по измеряемой поверхности, совершая колебания, форма которых подобна огибаемому профилю микронеровностей. Механические колебания иглы передаются в электромеханический преобразователь, а из него преобразованный сигнал в виде выходного изменяющегося напряжения передаётся на шка-

лу профилометра или на записывающее устройство профилографа. В качестве преобразователя чаще всего применяется индуктивное устройство, в котором колебания иглы вызывают изменение воздушного зазора между сердечниками катушек и якоря и, следовательно, индуктивности катушек и выходного напряжения в схеме. Контактным методом измеряются параметры шероховатости Ra , Rz , $Rmax$, R_p , Sm , t_p . Современный вид профилометра-профилографа АБРИС-ПМ7 дан на рисунке 8.3. Здесь информация о микропрофиле исследуемой поверхности может выводиться на экран монитора, на регистрирующее устройство и на принтер. Действие профилометра-профилографа основано на ощупывании неровностей измеряемой поверхности алмазной иглой и преобразовании колебаний щупа датчика в колебания электрического напряжения, пропорциональные этим колебаниям. Колебания напряжения обрабатываются в отсчётном устройстве или в компьютере по специальной программе, и результат обработки выводится в цифровом виде на индикатор отсчётного устройства или в цифровом и графическом виде на экран монитора персонального компьютера.



Рис. 8.3. Общий вид современного профилографа-профилометра АБРИС-ПМ7

Метод бесконтактного измерения параметров шероховатости реализуется при использовании двойных микроскопов (МСС-11, ПСС-2), приборов теневого сечения (ПК-1) и др. В двойных микроскопах одна оптическая система проецирует плоский пучок света на измеряемую поверхность, а отражённый пучок света направляется во вторую оптическую систему (измерительную). Изменённый реальным профилем поверхности пучок света в виде искривлённой кривой попадает на сетку окулярного микрометра, которым и проводится измерение высоты неровностей. Цена деления микрометра устанавливается градуировкой прибора, которая проводится при использовании объект-микрометра со штриховой шкалой или по образцам с эталонной шероховатостью, так как измеряется не действительная высота микронеровности в виде излома узкой полоски света, а её проекция.

Принцип действия приборов теневого сечения аналогичен принципу действия приборов светового сечения. Но в этих приборах рассматривается не сечение луча в виде узкой полоски, а тень, искривлённая неровностями исследуемой поверхности. Тень создаётся ножом, прикладываемым к контролируемой поверхности.

Интерференционные микроскопы (микроинтерферометры) предназначены для визуальной оценки, измерения, и фотографирования высоты микронеровностей до $Rz = 0,1 \dots 0,8$ мкм. В этих приборах используется интерференция проектируемого и отражённого когерентного (монокроматического) пучка света. Форма интерференционных полос в увеличенном масштабе воспроизводит профиль измеряемого участка поверхности. Искривления интерференционных полос измеряют с помощью круговой шкалы барабана винтового окулярного микрометра. Высота неровностей определяется по формуле $H = (A/B) \cdot (l/2)$, где A — измеренная окулярным микрометром величина искривления интерференционной полосы; B — величина интервала (шага) полос в делениях круговой шкалы барабана винтового оку-

лярного микрометра; $l \approx 0,55$ мкм — длина волны света, применяемого при измерениях.

Принцип действия растровых микроскопов основан на явлении образования муаровых полос при наложении изображений двух периодических структур, т.е. закономерно повторяющихся элементов. Это могут быть совмещённые направленные следы обработки и дифракционная решётка. При наличии микронеровностей на поверхности муаровые полосы искривляются. Измеренная величина искривлений является количественной оценкой микронеровностей. Получение точной количественной характеристики требует градуировки измерений растровым микроскопом.

8.4. Контрольные вопросы

1. Что представляет собой шероховатость поверхности?
2. Что представляет собой волнистость поверхности?
3. Какими показателями характеризуется качество поверхности?
4. Какие нормируемые параметры шероховатости регламентированы стандартом Российской Федерации?
5. Какие приборы используются для контроля и измерения параметров шероховатости?
6. Что представляет собой современный прибор — профилометр-профилограф?
7. Какие методы используют для измерения шероховатости поверхности?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов, Б. А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов [Текст]: учебное пособие: в 2-х т. Т. П. Обработка материалов с использованием высококонцентрированных источников энергии / Б. А. Артамонов, Ю. С. Волков, В. И. Дрожалова [и др.]; под ред. В. П. Смоленцева. — М.: Высш. школа, 1983. — 208 с.
2. Бирюков, Б. Н. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки [Текст] / Б. Н. Бирюков. — М.: Машиностроение, 1981. — 128 с.
3. Басовский, Л. Е. Управление качеством [Текст]: учебник для вузов / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. — М.: ИНФРА-М, 2006. — 212 с.
4. Гиссин, В. И. Управление качеством продукции [Текст]: учебное пособие для вузов / В. И. Гиссин. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. — 256 с.
5. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски [Текст]: ГОСТ 7505-89. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 53 с.
6. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку [Текст] : ГОСТ 26645-85.
7. Дриц, М. Е. Технология конструкционных материалов и материаловедение [Текст]: учебник / М. Е. Дриц, М. А. Москалев. — М.: Высш. шк., 1990. — 447 с.
8. Жадан, В. Т. Технология металлов и других конструкционных материалов [Текст]: учебник / В. Т. Жадан, Б. Г. Гринберг, В. Я. Никонов. — М.: Высш. шк., 1970. — 704 с.
9. Лебедев, Л. В. Разработка технологических процессов в машиностроении [Текст]: учеб. пособие / Л. В. Лебедев, И. В. Шрубченко, А. А. Погонин [и др.]. — Белгород: Изд-во БГТУ имени В. Г. Шухова, 2004. — 177 с.
10. Маренков, Н. Л. Управление обеспечением качества и конкурентоспособности продукции [Текст]: учебник для студентов высших экономических и машиностроительных специальностей / Н. Л. Маренков, В. П. Мельников, В. П. Смоленцев, А. Г. Схиртладзе. — Ростов-на-Дону: Изд-во «Феникс», 2004. — 512 с.
11. Нефедов, Н. А. Практическое обучение в машиностроительных техникумах. Учебная практика [Текст]: учебное пособие / Н. А. Нефедов. — М.: Высш. шк., 1990. — 311 с.

12. Роман, О. В. Обработка металлов резанием и станки [Текст] / О. В. Роман, А. А. Левенцов, И. Ф. Шелковский. — Мн.: Вышэйш. школа, 1970. — 312 с.
13. Дальский, А. М. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебник / А. М. Дальский, Н. А. Арутюнов, Т. М. Барсуков [и др.]. — М.: Машиностроение, 1977. — 664 с.
14. Скобников, К. М. Технология металлов и других конструкционных материалов [Текст]: учебное пособие / К. М. Скобников, Г. А. Глазов, Л. В. Петраш [и др.]. — М.: Машиностроение, 1972. — 520 с.
15. Петруха, П. Г. Технология обработки конструкционных материалов [Текст]: учебник / П. Г. Петруха, А. П. Марков, П. Д. Беспяхотный [и др.]. — М.: Высш. шк., 1991. — 512 с.
16. Кнорозов, Б. В. Технология металлов [Текст] / Б. В. Кнорозов, Л. Ф. Усова, А. В. Третьяков [и др.]. — М.: Металлургия, 1978. — 904 с.
17. Комаров, О. С. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебник / О. С. Комаров, В. Н. Ковалевский, А. С. Чаус [и др.]. — Мн.: Новое знание, 2005. — 560 с.
18. Кузьмин, Б. А. Технология металлов и других конструкционных материалов [Текст]: учебник / Б. А. Кузьмин, Ю. Е. Абраменко, М. А. Кудрявцев [и др.]. — М.: Машиностроение, 1989. — 496 с.

Учебное издание

Афанасьев Александр Александрович
Погонин Анатолий Алексеевич

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебник

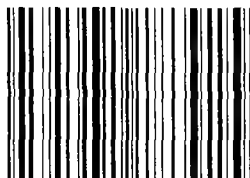
Редактор Л. В. Попова
Корректор И. А. Логвинова
Технический редактор А. В. Макаров
Компьютерная вёрстка Н. В. Масловой
Компьютерная графика С. С. Гранкиной

Подписано в печать 01.10.13.
Формат 60 x 84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура SchoolBookCTT. Усл. печ. л. 38,13.
Тираж 1000 экз. Заказ № 192.

Издательство «Тонкие наукоёмкие технологии»
309500, Белгородская обл., г. Старый Оскол, м-н Макаренко, д. 40.
Тел./факс (4725) 42-35-29, 42-35-39, 32-25-29
E-mail: st_tnt-press@mail.ru; st_tnt-press@belgtts.ru
Адрес в Интернете: www.tntpress.ru

Отпечатано в типографии ООО «Тонкие наукоёмкие технологии»
309500, Белгородская обл., г. Старый Оскол, м-н Макаренко, д. 40.
Тел./факс (4725) 42-35-29, 42-35-39, 32-25-29

ISBN 978-5-94178-391-5



9 78 5 94 1 78 3 9 1 5