

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Торговое и рекламное оборудование»

Н. М. Чигринова
О. В. Дьяченко

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Учебно-методическое пособие
для студентов специальностей

1-27 03 01 «Управление инновационными проектами
промышленных предприятий», 1-27 03 02 «Управление
дизайн-проектами на промышленном предприятии»,
1-36 20 03 «Торговое оборудование и технологии»,
1-52 04 01 «Производство экспозиционно-рекламных объектов»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
высших учебных заведений Республики Беларусь по образованию
в области экономики и организации производства;
в области машиностроительного оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2022

УДК 621:658.512 (075.8)

ББК 34.5я7

Ч-58

Рецензенты:

Л. М. Акулович, К. В. Сашко

Чигринова, Н. М.

Ч-58 Конструкторско-технологическое обеспечение производства : учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-27 03 01 «Управление инновационными проектами промышленных предприятий», 1-27 03 02 «Управление дизайн-проектами на промышленном предприятии», 1-36 20 03 «Торговое оборудование и технологии», 1-52 04 01 «Производство экспозиционно-рекламных объектов» / Н. М. Чигринова, О. В. Дьяченко. – Минск : БНТУ, 2022. – 125 с.

ISBN 978-985-583-399-5.

В издании рассмотрены виды технологий, понятие технологичности конструкции, теория базирования, заготовительное производство и механическая обработка.

Книга предназначена для студентов технических и экономических специальностей технических вузов и специалистов промышленных предприятий.

УДК 621:658.512 (075.8)

ББК 34.5я7

ISBN 978-985-583-399-5

© Чигринова Н. М., Дьяченко О. В., 2022

© Белорусский национальный
технический университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	7
ТЕМА 1. ПОНЯТИЕ И ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ	7
1.1. Технология и виды изделий	7
1.2. Виды технологий	7
1.3. Жизненный цикл технологии	8
1.4. Производственный процесс.....	9
1.5. Технологический процесс.....	10
1.6. Виды технологических процессов.....	11
1.7. Типы производства.....	13
1.8. Структура технологического процесса	15
1.9. Виды изделий.....	17
1.10. Оснащение рабочего места.....	18
1.11. Технологическая оснастка.....	18
ТЕМА 2. ПОНЯТИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ	
КОНСТРУКЦИИ	19
2.1. Виды технологичности конструкции изделий.....	19
2.2. Основные задачи конструкции изделий.....	19
2.3. Показатели ТКИ	19
2.4. Требования к технологичности	22
2.5. Отработка конструкции на технологичность	22
2.6. Коэффициент экономической эффективности	24
2.7. Примеры конструктивных решений.....	25
ТЕМА 3. ТЕОРИЯ БАЗИРОВАНИЯ	26
3.1. Исходный размер и понятие о базах.....	26
3.2. Понятие о базах, их классификация и назначение	30
3.2.1. <i>Стандартные базы</i>	31
3.2.2. <i>Призматическое тело</i>	35
3.2.3. <i>Длинное цилиндрическое тело</i>	36
3.2.4. <i>Короткое цилиндрическое тело</i>	37
3.3. Основные принципы базирования	
при механической обработке.....	38
3.3.1. <i>Принцип постоянства баз</i>	38
3.3.2. <i>Принцип последовательности переменны баз</i>	40
3.3.3. <i>Выбор черновых баз</i>	40

3.3.4. Принцип совмещения или единства баз	43
3.4. Схемы базирования и установка заготовок на станках и в приспособлениях	45
ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	54
ТЕМА 4. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (ОМД)	54
4.1. Общие сведения	54
4.2. Физические основы ОМД	55
4.3. Влияние обработки давлением на структуру и свойства металла	57
4.4. Классификация видов ОМД	57
4.4.1. Холодная ОМД	57
4.4.2. Горячая ОМД	59
4.5. Основные виды обработки металлов давлением	60
4.5.1. Технология прокатного производства	61
4.5.2. Прессование	64
4.5.3. Прокатка	67
4.6. Ковка	72
4.6.1. Операции машиннойковки	73
4.6.2. Оборудование дляковки	75
4.7. Штамповка	77
4.7.1. Горячая объемная штамповка	79
4.7.2. Штамповка в открытых штампах	81
4.7.3. Штамповка в закрытых штампах	82
4.8. Листовая штамповка	83
4.8.1. Общие сведения	83
4.8.2. Оборудование для листовой штамповки	90
ТЕМА 5. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ЛИТЬЯ	95
5.1. Литье в постоянные формы	96
5.1.1. Кокильное литье	96
5.1.2. Литье под давлением	99
5.1.3. Центробежное литье	100
5.1.4. Непрерывное литье	102
5.1.5. Электрошлаковое литье	103
5.1.6. Литье в оболочковые формы	103
5.1.7. Литье по выплавляемым моделям	104
5.1.8. Литье в керамические формы	105

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	106
ТЕМА 6. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК РЕЗАНИЕМ.....	106
6.1. Токарная обработка.....	107
6.2. Фрезерование.....	109
6.3. Сверление.....	111
6.4. Зенкерование.....	112
6.5. Развертывание.....	114
6.6. Шлифование.....	115
6.7. Хонингование	117
6.8. Суперфиниширование.....	119
6.9. Притирка	121
6.10. Полирование	122
 ЛИТЕРАТУРА	 124

ВВЕДЕНИЕ

Пособие является полезным и информативным материалом для студентов технических вузов, получающих не только инженерное, но и экономическое образование, предоставляющим необходимые знания о современных видах обработки материалов и методах изготовления изделий для машиностроения и других отраслей промышленности.

В нем обозначены основные направления и пути развития технологий, приведена информация о типах и видах производственных процессов, понятия о различных объектах техники, включая изделия, детали, комплекты и комплексы, предложены методы повышения производительности труда и улучшения качества и точности изготавливаемых изделий. Рассмотрены основные вопросы, касающиеся особенностей механической обработки заготовок с приведением данных о системах и методах их базирования и установки на станках. Основное внимание в пособии уделяется заготовительным операциям, включающим различные виды обработки металлов давлением, литейные технологии, а также дана обширная информация о технологиях лезвийной обработки, таких как токарная, фрезерная, сверлильная, доводочные операции, различные виды шлифования. Описаны типы основных и вспомогательных производств, специализированное оборудование, инструмент и приспособления, приведены методики расчетов режимов резания. Обучающимся предоставляется качественный иллюстративный материал, позволяющий получить знания о видах и конструкции различных инструментов, станочных приспособлений и современных станков и оборудования.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ТЕМА 1. ПОНЯТИЕ И ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

1.1. Технология и виды изделий

Основной закон технологии – производство необходимых обществу продуктов потребления должно осуществляться с наименьшими для конкретных условий места и времени затратами труда на единицу продукции.

Причины развития технологий – преобладание потребностей общества над возможностями их удовлетворения.

Технология – средство преобразования сырья и наука, изучающая и анализирующая процессы создания продукта, обладающего потребительской стоимостью [1].

По функциональному назначению в производственной системе различаются:

1. **Базовые технологии**, решающие непосредственные задачи производственной системы.

2. **Обслуживающие технологии** для обеспечения базовых необходимыми компонентами.

Технологическая наука и производство решают две задачи:

- создание благоприятных условий для полной реализации возможностей эксплуатируемой технологии;
- разработка новых, более прогрессивных технологий.

1.2. Виды технологий

Практическая технология – отработанная опытом совокупность процессов по созданию потребительской стоимости. Она объективно существует, т. к. может быть описана, изображена и воспроизведена по данному описанию в конкретных условиях [1].

Разновидности практических технологий:

- *материальные* – создают объекты материальной среды;
- *социальные* – образование, маркетинг, менеджмент;
- *духовные*.

Характерные черты практической технологии:

- динамизм;
- конкретность, отраженная в целенаправленности ее процессов;

– материальная обусловленность, определяемая наличием компонентов материального мира в процессе создания продукта, обладающего потребительской стоимостью;

– логичность, предполагающая строгую последовательность действий с целью получения продукта, обладающего потребительской стоимостью.

Научная технология (НТ) – изучает и обобщает опыт создания продукта с потребительской стоимостью. НТ призвана заниматься разработкой новых технологий на основе анализа, изучения практических и теоретических технологий.

Предмет изучения НТ – процессы взаимодействия средств и орудий труда с окружающей средой.

Теоретическая технология (ТТ) изучает диалектику технологии и возможность использования законов развития природы и общества для преобразования материального и духовного мира.

Принципы ТТ:

1) необходимость перехода от теоретических построений к экспериментальной и опытной проверке;

2) объективность источника развития технологии;

3) многовариантность;

4) экономическая целесообразность;

5) соотношение объективного и субъективного;

6) движущие силы развития – общественная потребность;

7) анализ, предполагающий разложение целого на составные части;

8) синтез – соединение составных частей в целое.

1.3. Жизненный цикл технологии

Технологический процесс охватывает все виды деятельности человека.

В своем развитии технология проходит следующие этапы.

1) создание образа продукта, обладающего потребительской стоимостью;

2) моделирование и апробация образца в отдельных образцах;

3) подбор необходимых средств труда, технологических схем, параметров и инструментария;

4) разработка технологии или экспериментальных технологических процессов;

5) соединение экспериментальных технологических процессов в единый производственный процесс;

6) доведение единого технологического процесса до требуемого уровня;

7) выпуск новой продукции согласно разработанному технологическому процессу.

Для изготовления любого продукта необходимы предмет труда, средства труда, труд [1, 2].

1.4. Производственный процесс

Производственный процесс (ПП) – совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта продукции (ГОСТ 14.004-83).

Производственная система (ПС) – совокупность приемов и средств для реализации технологического процесса (ТП).

В ПС реализуется производственный процесс (ПП).

Можно выделить 2 части ПС:

– 1 часть, в которой перенос труда осуществляется непосредственно на продукт;

– 2 часть, где обеспечивается эффективное формирование и развитие систем ПП.

Производственная программа характеризуется номенклатурой выпускаемых изделий и объемом выпуска.

Объем выпуска продукции (ОВП) определяется числом изделий конкретного наименования, типоразмеров, изготавливаемых или ремонтируемых предприятием в течение планируемого периода времени.

Программа выпуска – устойчивый для данного предприятия перечень изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием ОВП по каждому наименованию на планируемый период.

Состав цехов и служб предприятия с указанием связей между ними определяет *производственную структуру*. Элементарной единицей структуры предприятия является *рабочее место*. На рабочем месте размещены исполнители работы, обслуживаемое технологическое оборудование, часть конвейера, оснастка на ограниченное время и предметы труда.

Производственный участок – группы рабочих мест, организованных по предметному, технологическому или предметно-технологическому принципу. Совокупность производственных участков образует цех.

Существует основное и вспомогательное производство.

К продукции *основного производства* относятся изделия, поставляемые или реализуемые предприятиям или по кооперации.

К продукции *вспомогательного производства* относятся изделия, не подлежащие реализации или поставкам по кооперации, но предназначенные для обеспечения основного производства.

Одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций.

Коэффициент закрепления операций – отношение числа всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест:

$$K_{з.о.} = O / P, \quad (1.1)$$

где O – число различных операций;

P – число рабочих мест, на которых выполняются различные операции [3].

1.5. Технологический процесс

Технологический процесс является частью ПП и представляет собой совокупность различных операций, в результате выполнения которых изменяются размеры, форма, свойства предметов труда, выполняется соединение деталей в сборочные единицы и изделия, осуществляется контроль требований чертежа и технических условий.

Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, формообразования и сборки, которые определены ГОСТ 3.1109-82.

К предметам труда относят заготовки и изделия.

Параметры ТП:

– *частные* – характеризуют особенности ТП и выделяют его из ряда аналогичных ему (температура, давление, скорость, усилие и т. п.);

– *единичные* – определяют группы однотипных ТП;

– *обобщенные* – определяют любой ТП и относят к ним живой и прошлый труд.

Живой труд – затраты физической и умственной энергии, расходуемой человеком в процессе производства.

Прошлый труд – произведенная продукция, используемая при производстве вторичного продукта.

1.6. Виды технологических процессов

Вид технологического процесса определяется количеством изделий, охватываемых процессом (одно изделие, группы однотипных изделий).

Наименование процессов устанавливают по стандартам СРПП (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Виды технологических процессов

Единичный технологический процесс – технологический процесс изготовления изделий одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства.

Типовой технологический процесс – технологический процесс, характеризуемый единством содержания и последовательности

большинства технологических операций и переходов для группы изделий с общими конструктивными признаками.

Групповой технологический процесс – технологический процесс, характеризуемый единством методов обработки с использованием однородных и быстро переналаживаемых приспособлений для групп изделий даже с разными конструктивными признаками.

Каждый вид ТП характеризуется следующими признаками:

- основным назначением процесса (рабочий, перспективный);
- степенью детализации содержания процесса (маршрутный, операционный, маршрутно-операционный).

Рабочий технологический процесс – ТП, выполняемый по рабочей и (или) конструкторской технической документации, применяемый для изготовления изделий.

Перспективный технологический процесс – ТП, соответствующий современным достижениям науки и техники, методы и средства осуществления которого полностью или частично предстоит освоить на предприятии (используются как информационная основа для разработки рабочих ТП при техническом и организационном перевооружении производства). ТП рассчитан на применение более совершенных методов обработки, более производительных и экономически эффективных средств технологического оснащения и изменения принципов организации производства.

Маршрутный технологический процесс – ТП, выполняемый по документации, в которой содержание операций приводится без указания переходов и режимов обработки, по технологическому маршруту – последовательности прохождения заготовки, детали или сборочной единицы по подразделениям предприятия при выполнении технологического процесса изготовления или ремонта.

Операционный технологический процесс – ТП, выполняемый по документации, в которой содержание операций излагается с указанием переходов и режимов обработки.

Маршрутно-операционный технологический процесс – ТП, выполняемый по документации, в которой содержание отдельных операций излагается без указания переходов и режимов обработки.

Общая схема ТП может быть представлена в виде последовательных этапов приближения сырья к заданным параметрам готовой детали (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Этапы технологического процесса

1.7. Типы производства

Различают 3 типа производства:

Единичное производство – производство, характеризующееся широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом выпуска изделий. Коэффициент закрепления операций >40 .

Серийное производство – производство, характеризующееся ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями выпуска.

В зависимости от количества изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают **мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производства**.

Коэффициент закрепления операций в соответствии со стандартом принимают равным:

- для мелкосерийного производства – от 20 до 40 включительно;
- для среднесерийного производства – от 10 до 20 включительно;
- для крупносерийного производства – от 1 до 10 включительно.

Массовое производство – производство, характеризующееся узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени.

Коэффициент закрепления операций для массового производства принимают равным единице.

Организационные формы ТП

Групповая форма организации техпроцессов характеризуется однородностью конструктивно-технологических признаков изделий, единством средств технологического оснащения одной или нескольких технологических операций и специализацией рабочих мест.

Поточная организация производства характеризуется расположением технологического оснащения в последовательности выполнения операций технологического процесса и специализации рабочих мест (рис. 1.3).

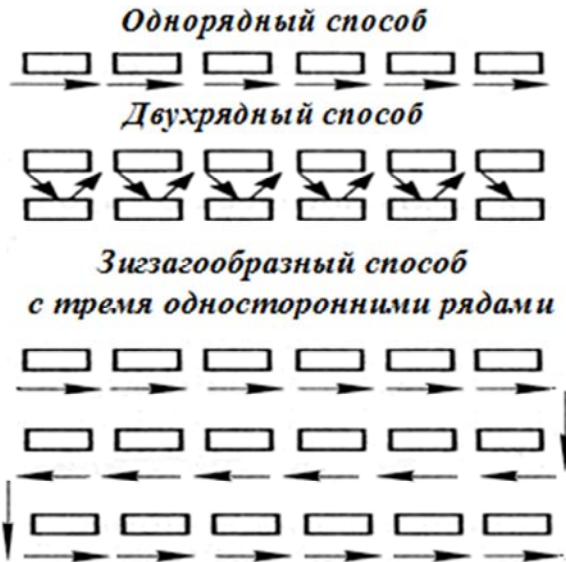


Рис. 1.3. Способы поточной организации производства

По результатам анализа классификационных групп изделий и показателей относительной трудоемкости устанавливается профиль специализации каждого структурного подразделения (цеха, участка) и т. д.

$$K_{gi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k_0} t_{шт.i.},}{K_{B}r_i}, \quad (1.2)$$

где K_{gi} – показатель относительной трудоемкости;

$t_{шт.i}$ – штучное время i -й деталей операции, нормоминуты;

k_0 – число операций по технологическому процессу обработки

i -го изделия, мин;

K_B – средний коэффициент выполнения норм времени;

r – такт производства i -го изделия, мин;

1.8. Структура технологического процесса

ТП изготовления изделия по физическим и экономическим признакам разделяют на *операции*.

Технологическая операция – законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте. Операция – это основной элемент производственного планирования и учета. По ней определяется трудоемкость и себестоимость процесса, необходимое количество рабочих и средств технического оснащения.

Известны следующие технологические операции (ТО): установки, переходы, проходы, позиции и приемы.

Установка – законченная часть ТО, выполняемая при неизменном закреплении заготовки. Установки делят на технологические переходы.

Технологический переход – законченная часть ТО, выполняемая одними и теми же средствами технического оснащения при постоянных технологических режимах при одной установке. Переход может выполняться путем удаления одного или нескольких слоев материала за один или несколько проходов.

Проход – заключительная часть технологического перехода, сопровождаемая однократным перемещением инструмента относительно заготовки, при котором изменяется форма, размеры, качество и другие параметры изделия.

Проходы делятся на рабочие и вспомогательные ходы.

Рабочий ход – заключительный технологический переход, сопровождаемый однократным перемещением инструмента с изменением размеров изделия.

Вспомогательный ход предназначен для выполнения рабочего хода.

Все действия при выполнении технического перехода делят на приемы.

Прием – законченная совокупность действий рабочего при выполнении перехода или его части, объединенных одним целевым назначением (закрепление заготовки, смена инструмента и т. п.).

Вспомогательный переход – заключительная часть ТО, необходимая для технологического перехода и не сопровождаемая изменением формы изделия.

Позиция – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной заготовкой совместно с приспособлением относительно инструмента (неподвижной части оборудования) при выполнении определенной части ТО.

Средства технического оснащения – совокупность орудий производства, необходимых для осуществления ТП.

Технологическое оборудование – средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части ТП размещают материалы или заготовки, средства воздействия на них, технологическую оснастку.

Стандарты ЕСТД устанавливают следующие основные характеристики ТП:

– **цикл технологической операции** – интервал календарного времени от начала до конца периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий;

– **такт выпуска** – интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения;

– **ритм выпуска** – количество изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения, выпускаемых в единицу времени;

– **норма времени** – регламентируемое время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации;

– **норма выработки** – регламентированное количество деталей, которое должно быть изготовлено в единицу времени;

– **штучное время** – интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий или равный календарному времени сборочной операции;

– **технологическая себестоимость** изготовления детали по всем операциям технологического процесса (цеховая себестоимость).

$$C_{\text{ое}} = L + Z, \quad (1.3)$$

где L – основная заработная плата производственных рабочих;
 Z – сумма всех остальных цеховых расходов.

1.9. Виды изделий

Изделием называют любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

Изделия, изготовленные для поставки (реализации), относятся к изделиям основного производства. Изделиями основного производства считают также предназначенные для поставки (реализации), которые одновременно используются и для собственных нужд предприятия-изготовителя.

Если предприятия (объединения) изготавливают изделия только для собственных нужд, то эти изделия являются изделиями вспомогательного производства.

В зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей изделия подразделяются следующим образом: **неспецифицированные (детали)** – не имеющие составных частей; **специфицированные** (сборочные единицы, комплексы, комплекты) – состоящие из двух и более частей.

В соответствии с ГОСТ 2.101-68 установлены четыре вида изделий:

1. **Детали** – изделия, изготовленные из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

2. **Сборочные единицы** – изделия, составные части которых подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе путем сборочных операций (свинчивание, сочленение, клепка, сварка, пайка, склеивание).

3. **Комплексы** – два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Например: цех-автомат, бурильная установка.

4. **Комплекты** – два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера. Например: комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей и т. п.

1.10. Оснащение рабочего места

К оснащению рабочего места относят *оборудование, технологическую оснастку и вспомогательные средства*.

Виды оборудования:

1. *Станки широкого назначения (универсальные)*: используются в мелкосерийном и единичном производстве.

2. *Станки высокой производительности* (полуавтоматы, автоматы): используются в серийном и массовом производствах.

3. *Агрегатные станки* – станки, переделанные из станков высокой производительности, приспособленные для обработки определенной детали или группы деталей. Используются в крупносерийном и массовом производствах.

4. *Специальные станки* предназначены для обработки конкретной заготовки на конкретной операции: токарные, сверлильные, шлифовальные, фрезерные, электроэрозионные, зуборезные, протяжные и т. п.

Используются в массовом производстве при выпуске одного изделия в течение нескольких лет.

1.11. Технологическая оснастка

Приспособлением называют дополнительное устройство, не входящее в конструкцию станка и предназначенное для закрепления заготовок.

Вспомогательный инструмент – устройство, не входящее в конструкцию станка и предназначенное для крепления инструмента.

Обрабатывающий инструмент – инструмент, предназначенный для изменения формы, размеров, состояния поверхности обрабатываемой заготовки.

Контрольный инструмент должен обеспечивать необходимую точность измерения при наименьших, экономически целесообразных затратах времени и труда.

К *вспомогательным средствам* относятся стеллажи, тумбочки, оргтехника и средства технологического оснащения [3].

ТЕМА 2. ПОНЯТИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

2.1. Виды технологичности конструкции изделий

Технологичность конструкции изделий (ТКИ) рассматривается как совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ (ГОСТ 14.205-83).

Производственная ТКИ заключается в сокращении средств и времени на конструкторскую подготовку производства, технологическую подготовку производства, процессы изготовления, в том числе контроля и испытаний, монтаж вне предприятия-изготовителя [1].

Эксплуатационная ТКИ заключается в сокращении средств и времени на подготовку к использованию по назначению, в технологическом и техническом обслуживании, текущем ремонте, утилизации.

Ремонтная технологичность заключается в сокращении средств и времени на все виды ремонта.

2.2. Основные задачи конструкции изделий

На основе достижения технологической рациональности и оптимальной конструктивной и технологической преемственности конструкции изделия обработка конструкции изделия на технологичность должна обеспечивать решение следующих *основных задач*:

- снижение трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и его монтажа вне предприятия-изготовителя;
- снижение трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта изделия;
- снижение важнейших составляющих общей материалоемкости изделия – расхода металла и топливно-энергетических ресурсов при изготовлении, монтаже вне предприятия-изготовителя, техническом обслуживании и ремонте.

2.3. Показатели ТКИ

Качественная оценка характеризует технологичность конструкции на основе опыта исполнителя.

Качественная оценка при сравнении вариантов конструкции в процессе проектирования изделия предшествует количественной и определяет целесообразность последней.

Количественная ТКИ оценивается показателем, значение которого характеризует степень удовлетворения требованиям к технологичности конструкций.

Количественная оценка ТКИ производится с помощью системы, включающей следующие показатели:

– *базовые (исходные)* показатели технологичности, которые являются предельными нормативами технологичности, обязательными для выполнения при разработке изделия. Их указывают в техническом задании на разработку изделия или в отраслевых стандартах;

– *показатели технологичности*, достигнутые при разработке изделия.

Число показателей должно быть минимальным, но достаточным для оценки технологичности [2].

К основным показателям ТКИ относятся:

– *трудоемкость и себестоимость* изготовления изделия,

– *материалоемкость и энергоемкость* изделия.

1. Трудоемкость.

Абсолютная трудоемкость T_a , затраченная на изготовление, монтаж, ТО или ремонт изделия, выражается суммой нормо-часов, затраченных на технологические процессы, проведенные в одной из сфер:

$$T_a = \sum T_i, \quad (2.1)$$

где T_i – трудоемкость, затраченная на изготовление любой i -той составной части, нормо-час.

Уровень технологичности конструкции по трудоемкости:

$$K_{yt} = T_{ан} / T_{би}, \quad (2.2)$$

где $T_{ан}$ – *достигнутая* трудоемкость изготовления изделия;

$T_{би}$ – *базовый* показатель трудоемкости изготовления изделия.

Себестоимость изделия – обобщающий показатель качества.

Для оценки ТКИ пользуются показателем технологической себестоимости S_T :

$$S_T = S_M + S_3 + S_{НР}, \quad (2.3)$$

где S_M – стоимость материалов, затраченных на изготовление изделия;
 $S_З$ – заработная плата производственных рабочих с начислениями;
 $S_{НР}$ – накладные расходы, включающие расходы на энергию, потребляемую оборудованием, на ремонт и амортизацию оборудования, инструмента и приспособлений на смазочные, охлаждающие, обтирочные и другие материалы, предусмотренные процессом проведения работ.

Уровень технологичности конструкции по себестоимости

$$K_{yc} = S_T / S_б, \quad (2.4)$$

где S_T – достигнутая технологическая себестоимость;

$S_б$ – базовый показатель технологической себестоимости.

2. Материалоемкость изделия характеризует количество материала, затраченного на производство изделия и его эксплуатацию, определяемое в единицах массы.

Материалоемкость изделия по сферам проявления подразделяют на производственную материалоемкость, ТО и ремонта.

Материалоемкость характеризуется удельной материалоемкостью

$$K_{у.м.} = M/P, \quad (2.5)$$

где M – сухая масса изделия;

P – номинальное значение основного технического параметра (производительность, мощность и др.).

Коэффициентом $K_{пр.м.i}$ применяемости материала оценивается унификация материалов:

$$K_{пр.м.i} = N_i/N, \quad (2.6)$$

где N_i – норма расхода данного (i -го) материала на изготовление изделия;

N – норма расхода материалов на изготовление изделия.

Величину N_i можно определять не только для материалов определенной марки и профиля, но и для марок и видов профилей (заготовок) отдельно.

Сумма значений коэффициентов $K_{пр.м.i} = 1$ для всех i -х материалов.

2.4. Требования к технологичности

1. Конструкция детали должна быть простой по конфигурации.
2. Конструкция должна состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов или быть стандартной в целом.
3. Должны быть предусмотрены надежные технологические базы, обеспечивающие необходимую жесткость.
4. Конструкция должна быть такой, чтобы для ее изготовления можно было применять высокопроизводительные методы обработки.
5. Заготовка по форме и размерам должна приближаться к форме и размерам готовой детали.

Это способствует снижению объема механической обработки, трудоемкости и себестоимости изготовления детали [1–3].

Главные факторы, определяющие требования к ТКИ, следующие:

- *вид изделия*, характеризующий главные конструктивные и технологические признаки, обуславливающие основные требования к ТКИ;
- *объем выпуска и тип производства*, определяющие степень технологического оснащения, механизации и автоматизации технологических процессов и специализацию всего производства.

2.5. Отработка конструкции на технологичность

ТКИ обеспечивается следующими мероприятиями:

- отработкой конструкции на технологичность на всех стадиях разработки изделия;
- при технологической подготовке производства;
- в обоснованных случаях при изготовлении изделия.
- совершенствованием условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий и фиксации принятых решений в технологической документации;
- количественной оценкой технологичности конструкции изделий;
- технологическим контролем конструкторской документации;
- подготовкой и внесением изменений в конструкторскую документацию по результатам технологического контроля по ГОСТ 2.121-73, обеспечивающих достижение базовых значений показателей технологичности.

Для оценки технологичности используют систему относительных частных показателей (K_i) и комплексный показатель (K_k) кото-

рый сравнивается с нормативным комплексным показателем технологичности (K_n), разрабатываемым как среднестатистический для данного класса изделий и приведенным в табл. 2.1. Если $K_k > K_n$, то конструкция считается технологичной.

Таблица 2.1

Значения нормативных показателей технологичности

Наименование класса изделий	K_n
1. Электронные приборы	0,5–0,7
2. Радиотехнические приборы	0,4–0,6
3. Электромеханические приборы	0,45–0,65

Различают производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичность конструкции.

Производственная технологичность определяет объем работ по технологической подготовке производства (ТПП), сложность изготовления, удобство монтажа вне предприятия-изготовителя.

Количественной оценкой производственной технологичности конструкции является суммарный показатель, в состав которого входят конструкторские и технологические показатели деталей и узлов изделия.

Конструкторские показатели определяют конструктивную преемственность – совокупность свойств изделия, характеризующую повторяемостью в нем составных частей, относящихся к изделиям данной классификации группы, и применяемостью новых составных частей, обусловленных его функциональным назначением, а также сложностью сборки.

Технологические показатели определяют технологическую преемственность конструкции, приспособленность ее к механизации и автоматизации при изготовлении, а также сложностью обработки деталей. Под технологической преемственностью понимают совокупность свойств изделия, характеризующую применяемостью и повторяемостью технологических методов выполнения узлов и их конструктивных элементов, относящихся к изделиям данной классификационной группы. Для каждого типа блоков из общего состава определяется семь показателей технологичности, оказывающих наибольшее влияние, каждый из которых имеет свою весовую характеристику.

2.6. Коэффициент экономической эффективности

По предварительным расчетам научно-исследовательских институтов Госстандарта внедрение ЕСТПП позволяет повысить производительность труда на 30–35 % в мелкосерийном и на 10–15 % в крупносерийном и массовом производствах, сократить в 1,5–2,5 раза сроки технологической подготовки производства и затраты на ее проведение, высвободить из сферы подготовки производства значительное количество материальных ресурсов [3, 4].

Для определения экономической эффективности в сфере производства с 1 сентября 1975 г. введен в действие ГОСТ 14.005-75 «ЕСТПП. Методы расчетов экономической эффективности». Этот стандарт предназначен для выбора оптимальных решений при совершенствовании технологической подготовки производства отрасли или предприятия на основе ЕСТПП; применения экономических показателей при оценке и оптимизации уровня ТПП на предприятии или в отрасли; учета соответствующего экономического эффекта в планах развития отрасли или предприятия; оценки окупаемости затрат на внедрение ЕСТПП в отрасли или на предприятии, а также определения поощрения за разработку и внедрение системы ТПП.

В стандарте приведен ряд формул для расчета экономического эффекта при внедрении отдельных решений ЕСТПП, что позволяет сравнивать эти данные, а, следовательно, выбирать оптимальный вариант. Для выбора маршрутной или операционной технологии, установления объема информации, уровня типизации и степени механизации даны расчетные методы, по которым можно находить оптимальные варианты.

Определение уровня технологической подготовки производства – сложная проблема, поскольку необходимо учитывать как уровень механизации и автоматизации ее разработки, так и степень совершенства самой технологии. Методы расчета и расчетные формулы, установленные стандартом, позволяют сопоставлять стоимость изготовления аналогичных изделий или стоимость изготовления, отнесенную к какой-либо условной единице (мощности, массы, грузоподъемности и т. п.), по различным технологическим процессам.

Расчетные формулы дают возможность предварительно сравнивать стоимость предстоящих работ по подготовке производства с существовавшими ранее и рассчитывать достигаемую в производстве эко-

номиию с выделением отдельных составляющих (экономия материалов, заработной платы, уменьшение амортизационных отчислений). Эти показатели используются при разработке годовых планов предприятий и отраслей, а также перспективных планов их развития [3, 4].

2.7. Примеры конструктивных решений

Если в конструкции изделия предусмотрены отверстия, по возможности они должны быть сквозными.

Производительная обработка отверстий сверлением в значительной степени определяется нормальными условиями врезания и выхода сверла после окончания процесса резания.

Соосные отверстия, расположенные на двух и более параллельных осях, будут более технологичны, если их диаметры будут уменьшаться постепенно (рис. 2.4) [3, 4].

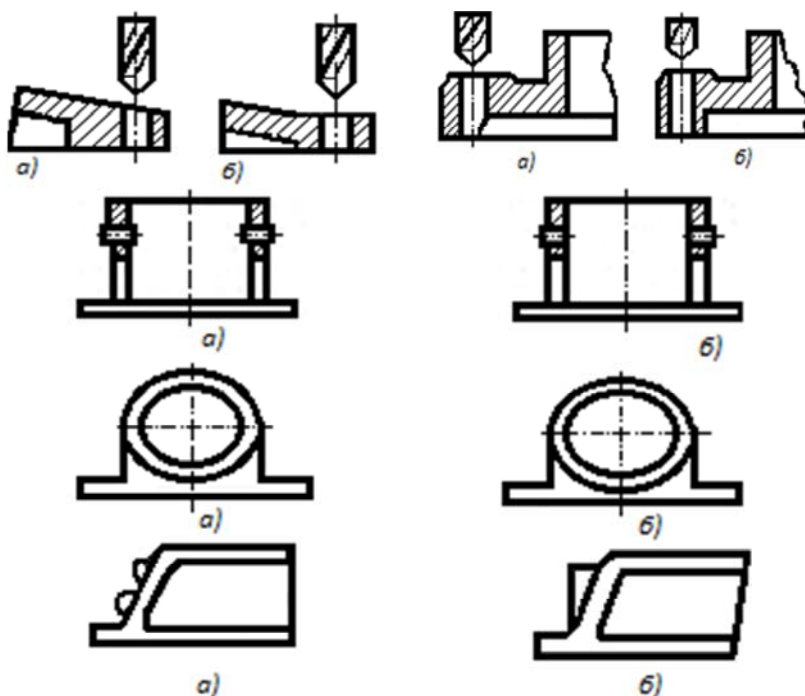


Рис. 2.4. Примеры нерациональных и рациональных конструктивных решений:
a – нерациональное решение; *б* – рациональное решение

ТЕМА 3. ТЕОРИЯ БАЗИРОВАНИЯ

3.1. Исходный размер и понятие о базах

Термины и определения основных понятий базирования и баз регламентируются ГОСТ 21495-76.

Базированием называют придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат (ГОСТ 21495-76).

База – это элементы изделия: поверхности, оси, линии или точки, положение которых ориентирует изделие определенным образом на станке или в сборочной единице [1].

База – поверхность или выполняющие ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащие заготовке или изделию и используемые для базирования.

Комплект баз – совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия [1, 2].

Твердое тело может быть неподвижным, т. е. занимать постоянное, неизменное положение в данной системе координат, или может передвигаться, изменять свое положение относительно определенной системы координат.

Постоянное положение или движение тела достигается наложением геометрических или кинематических связей.

Условие, ограничивающее скорость перемещения, называется **кинематической связью**.

Условие, ограничивающее перемещение, называется **геометрической связью**.

Геометрические связи бывают односторонние и двусторонние.

Пример двусторонней связи – шар, находящийся между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно диаметру шара (рис. 3.1).

Плоскости ограничивают перемещение шара вдоль оси, проходящей перпендикулярно к этим плоскостям.

Двустороннюю связь можно выразить уравнением:

$$Z_C = r, \text{ или } Z_C - r = 0, \quad (3.1)$$

где Z_C – координата центра шара;

r – радиус шара.

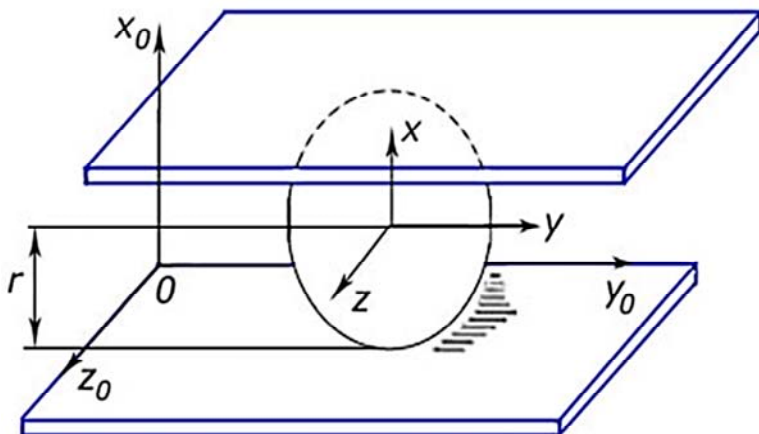


Рис. 3.1. Пример двусторонней связи

При односторонней геометрической связи движение шара в направлении координатной оси не ограничивается плоскостью, и его положение не определяется однозначно.

Одностороннюю связь можно выразить неравенством:

$$Z_C \geq r, \text{ или } Z_C - r \geq 0. \quad (3.2)$$

Область положения шара по оси может определяться двумя параллельными плоскостями, удаленными друг от друга на расстояние $2r + a$.

Тогда геометрические связи наложенные на шар, выражаются двумя неравенствами:

$$r \leq Z_C \leq (r + a), \quad (3.3)$$

т. е. двумя односторонними геометрическими связями.

Если в этом выражении соблюдается знак равенства, то односторонняя связь исключает движение шара по нормали к плоскости.

Положение механической системы с наложенными геометрическими и кинематическими связями в пространстве определяется обобщенными координатами системы (рис. 3.2).

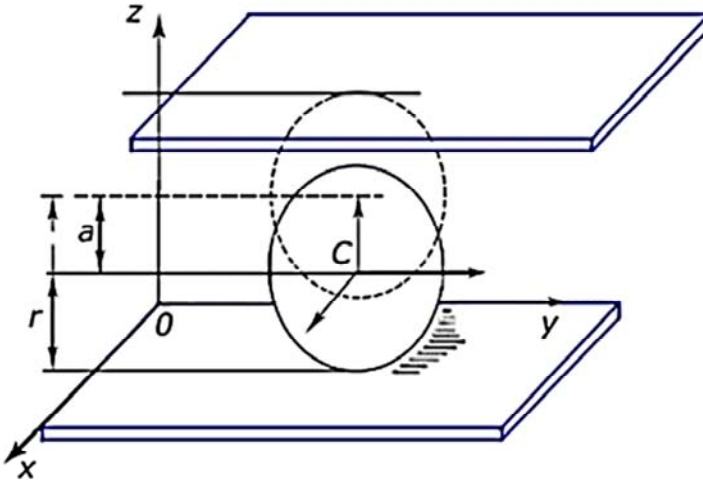


Рис. 3.2. Обобщенные координаты системы

Обобщенными координатами называются независимые параметры, определяющие положение или движение механической системы в пространстве (рис. 3.3).

Координата Z_C по оси Z является обобщенной координатой шара.

Числом обобщенных координат выражается число степеней свободы механической системы. Свободное твердое тело (не имеющее геометрических и кинематических связей) обладает **шестью степенями свободы**. Оно может перемещаться вдоль координатных осей и вращаться вокруг этих осей.

При механической обработке заготовку необходимо надежно установить и закрепить. Из теоретической механики известно, что твердое тело в пространстве имеет шесть степеней свободы, т. е. возможность перемещаться и вращаться относительно трех координатных осей в декартовой системе координат. Накладывая на тело связи, его лишают степеней свободы. Число связей для абсолютно неподвижного тела равно числу степеней свободы, т. е. шести.

С точки зрения теоретической механики базирование заключается в придании телу определенного положения путем конечного перемещения его из произвольного положения в положение, заданное двусторонними геометрическими связями, выраженными размерами или координатами.

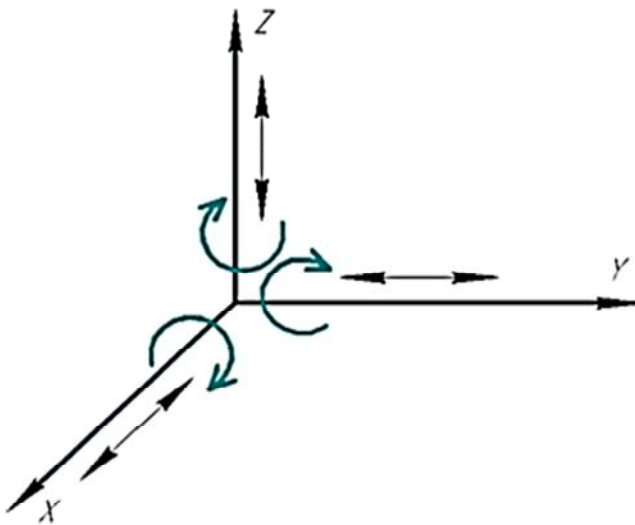


Рис. 3.3. Обобщенные координаты системы

Таким образом, чтобы обеспечить полную неподвижность изделия, т. е. надежно его установить и закрепить, необходимо лишить его шести степеней свободы, т. е. наложить на него шесть связей. Лишение твердого тела шести степеней свободы в технологии машиностроения называется правилом *шести точек*.

Опорная точка – идеальная точка контакта поверхности заготовки и приспособления, лишаящая заготовку 1 степени свободы, препятствующая ее перемещению в направлении, перпендикулярном опорной поверхности

При базировании заготовки или изделия в выбранной системе координат, чтобы лишить тело степеней свободы, на него необходимо наложить двусторонние геометрические связи.

Необходимое и достаточное условие для базирования твердого тела – наложение на него не более шести двусторонних связей.

Правило шести точек – создание шести опорных точек при базировании.

Если по служебному назначению изделие имеет определенное число степеней свободы, то соответствующее количество связей не накладывается. Если требуется обеспечить движение, то накладываются соответствующие кинематические связи.

3.2. Понятие о базах, их классификация и назначение

Согласно ГОСТ 21495-76, классификация машиностроительных баз производится по трем признакам: по назначению, лишаемым степеням свободы и характеру проявления. По назначению машиностроительные базы подразделяются на конструкторские, измерительные и технологические.

Базой называют совокупность поверхностей, линий или точек детали, по отношению к которым ориентируются другие детали изделия или по отношению к которым ориентируются поверхности детали, обрабатываемые на данной операции.

В зависимости от служебного назначения все поверхности детали подразделяются на основные, присоединительные (вспомогательные), исполнительные и свободные.

Под **основными** понимают поверхности, с помощью которых определяют положение данной детали относительно другой, к которой она присоединяется.

Присоединительными называют поверхности детали, определяющие положение всех присоединяемых к ней других деталей.

Исполнительные поверхности – поверхности, выполняющие служебное назначение.

Свободной поверхностью называют поверхность, предназначенную для соединения основных, присоединительных и исполнительных поверхностей между собой с образованием совместно необходимой для конструкции формы детали.

Элементы детали, образующие комплекты основных и присоединительных поверхностей, характеризуют:

– **технологическую базу**, т. е. элементы, используемые в процессе обработки для установления взаимосвязи между расположением режущей кромки инструмента и обрабатываемой поверхностью. Используется при обработке заготовок на станках;

– **конструкторскую базу**, т. е. поверхность (линию, точку) детали, по отношению к которой определяют расчетное положение двух поверхностей и геометрических элементов данной детали.

В качестве конструкторских баз используют также линии симметрии: оси валов и отверстий, биссектрисы углов и т. п. Для всех деталей вращения одной из конструкторских баз всегда является ось вращения;

– *измерительную базу*, т. е. поверхность (линии, точки) детали, от которой производится отсчет выполняемых размеров при обработке или измерении заготовки, а также при проверке взаимного расположения поверхности или элементов.

Сборочными базами называют поверхности, с помощью которых определяют положение детали при сборке.

Установочной базой детали называют совокупность поверхностей, линий или точек, относительно которых ориентируется при изготовлении детали поверхность, обрабатываемая на данной операции.

3.2.1. Стандартные базы

Конструкторской называется база, которая используется для определения положения детали или сборочной единицы в изделии [1, 2].

Конструкторские базы подразделяются на основные и вспомогательные базы. Основной называется конструкторская база данной детали, которая определяет ее положение при присоединении к другой детали. Вспомогательной называется конструкторская база данной детали, которая определяет положение другой, присоединяемой к ней детали.

Примеры основных и вспомогательных баз показаны на рис. 3.4.

В данном случае колесо при сборке присоединяется к валу, и поверхности 1, 2, 3 зубчатого колеса являются основными конструкторскими базами, а поверхности 4, 5, 6 шпонки и вала являются вспомогательными конструкторскими базами [1].

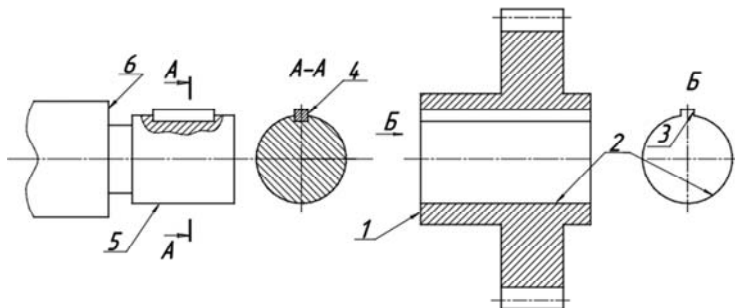


Рис. 3.4. Конструкторские базы:
1, 2, 3 – основные; 4, 5, 6 – вспомогательные

Измерительной называется база, используемая для определения относительного положения изделия и средств измерения. Иными словами, измерительной базой называется элемент изделия, от которого производится отсчет размеров или отклонений размеров при измерительном контроле.

Пример измерительной базы показан на рис. 3.5. Здесь измерительная база определена нормированием отклонения от параллельности верхней плоскости относительно базовой. Для контроля этого отклонения стойку 2 с индикатором 3 перемещают по базовой плоскости *A* детали 1.

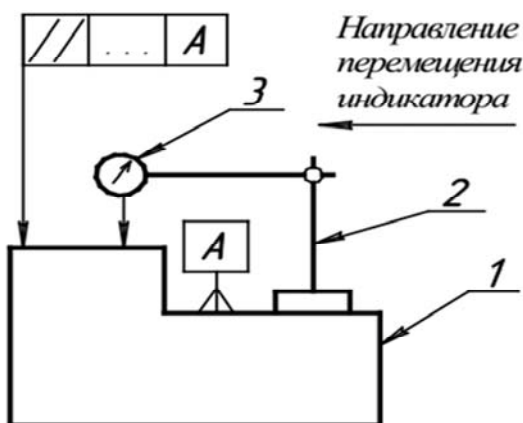


Рис. 3.5. Пример измерительной базы

Технологической называется база, которая используется для определения положения заготовки или изделия при изготовлении или ремонте. Иными словами, это поверхности, линии или точки, которые определяют положение заготовки на станке при механической обработке.

По лишаемым степеням свободы, независимо от назначения, базы делятся на установочные, направляющие, опорные, двойные направляющие, двойные опорные.

Установочной называется база, которая используется для наложения на изделие связей, лишаящих его трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

Направляющей называется база, которая используется для наложения на изделие связей, лишаящих его двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

Опорной называется база, которая используется для наложения на изделие связей, лишаящих его одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

Двойной направляющей называется база, которая используется для наложения на изделие связей, лишаящих его четырех степеней свободы – перемещения вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей.

Двойной опорной называется база, которая используется для наложения на изделие связей, лишаящих его двух степеней свободы – перемещения вдоль двух координатных осей.

Применим классификацию баз по лишаемым степеням свободы для вышерассмотренных примеров базирования тел. Для призматического тела, представленного на рис. 3.7, плоскости с одной, двумя и тремя опорными точками, являются соответственно опорной, направляющей и установочной базами. Для длинного цилиндрического тела на рис. 3.8 боковая поверхность является двойной направляющей базой, а торцевая поверхность и поверхность шипа являются опорными базами. Для диска на рис. 3.9 торцевая поверхность является установочной базой, боковая поверхность – двойной опорной базой, а поверхность шипа – опорной базой. По характеру проявления базы делятся на явные и скрытые.

Явной называется база в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок. Все базы, рассмотренные выше, были представлены реальными поверхностями. Поэтому они относятся к явным базам.

Скрытой называется база в виде воображаемой плоскости, оси или точки. Такие базы проявляют себя только при закреплении заготовок в самоцентрирующих зажимах. Самоцентрирующими зажимами называются приспособления, в которых при закреплении заготовок оси симметрии зажимов и заготовок совмещаются. Это достигается за счет синхронного перемещения зажимных элементов в направлении осей симметрии приспособления или за счет центрирования заготовок в самих зажимных элементах (губках) приспособ-

соблений. Примеры скрытых технологических баз при установке деталей в самоцентрирующих зажимах представлены на (рис. 3.6).

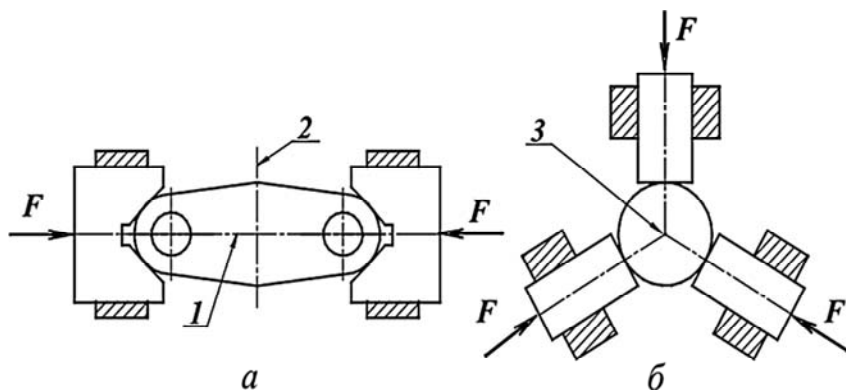


Рис. 3.6. Технологические скрытые базы (1, 2, 3)

В самоцентрирующем устройстве, представленном на рис. 3.6, *а*, совмещение осей симметрии заготовки и зажимного устройства достигается за счет синхронного перемещения зажимов в виде призм. Эти зажимы перемещаются одновременно с одинаковой скоростью навстречу друг другу.

Оси заготовки 1 и 2 после закрепления будут совмещены с осями симметрии приспособления и зажимов. Новая заготовка той же конфигурации, если не учитывать погрешности ее размеров, формы и расположения поверхностей, займет положение предыдущей [1].

При установке цилиндрической заготовки в самоцентрирующем трехкулачковом патроне будут совмещаться оси заготовки и патрона (рис. 3.6, *б*). Согласно ГОСТ 21495-76, такие оси при установке заготовок в самоцентрирующих устройствах следует принимать в качестве баз. Однако фактическое базирование осуществляется за счет контакта реальных поверхностей заготовок, которые имеют различного рода погрешности. Поэтому в реальных условиях оси заготовок с осями самоцентрирующих устройств не совпадают и скрытые базы таковыми не являются. Практическое значение скрытых баз заключается в том, что их обозначение в технологической документации указывает на необходимость закрепления заготовки в самоцентрирующем устройстве для повышения точности при механической обработке.

При образовании терминов баз (названий) признаки классификации должны располагаться в следующей последовательности: по назначению, лишаемому степеням свободы и характеру появления. Например: «Конструкторская основная установочная явная база», «Технологическая направляющая скрытая база», «Измерительная опорная явная база». Кроме того, в стандарте имеются следующие определения баз.

Проектная база – поверхность, выбранная при проектировании изделия, технологического процесса изготовления или ремонта этого изделия.

Действительная база – поверхность, фактически используемая в конструкции при изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия.

В стандарте нет пояснений относительно этих определений. Поэтому можно предполагать, что проектная база используется при проектировании в конструкторской и технологической документации, от которой проставлены конструкторские или технологические размеры, а действительная является элементом реального изделия [2].

Схемы базирования зависят от формы поверхностей обрабатываемых заготовок, большинство которых, как правило, ограничено плоскими, цилиндрическими или коническими поверхностями, используемыми в качестве опорных баз.

3.2.2. Призматическое тело

Прижмем призматическое тело к плоскости XOY декартовой системы координат, лишив его тем самым трех степеней свободы – перемещения вдоль оси Z и вращения вокруг осей X и Y (рис. 3.7).

Таким образом, получим три двусторонние связи в виде опорных точек 1–3. Теперь прижмем тело к плоскости YOZ . В этом случае образуются две двусторонние связи 4 и 5. Общее число опорных точек становится равным пяти. Чтобы лишить тело шестой степени свободы, его необходимо прижать к плоскости XOZ . Таким образом, возникает шестая двусторонняя связь, и тело лишается всех степеней свободы.

Необходимо, чтобы силы закрепления и резания действовали в одном направлении. Это исключает смещение заготовки под действием сил резания, что может привести к поломке инструмента, порче изделия и травмам [2].

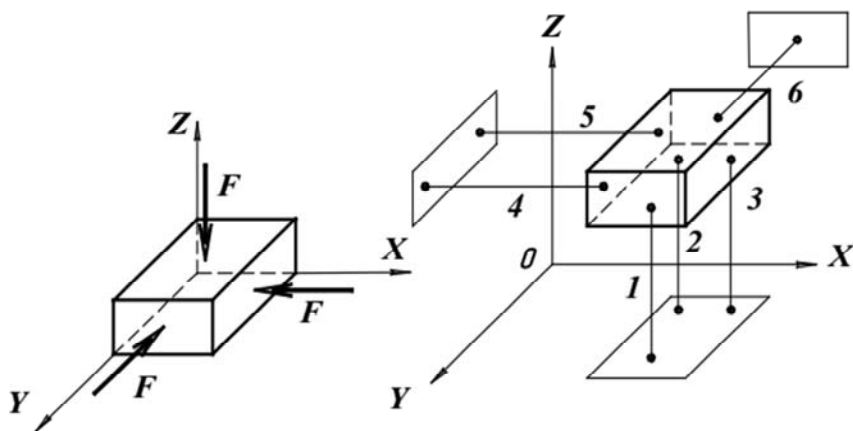


Рис. 3.7. Базирование и закрепление призматического тела:
1–6 – двусторонние связи или опорные точки

3.2.3. Длинное цилиндрическое тело

Рассмотрим применение правила шести точек при базировании и закреплении длинного цилиндрического тела (рис. 3.8).

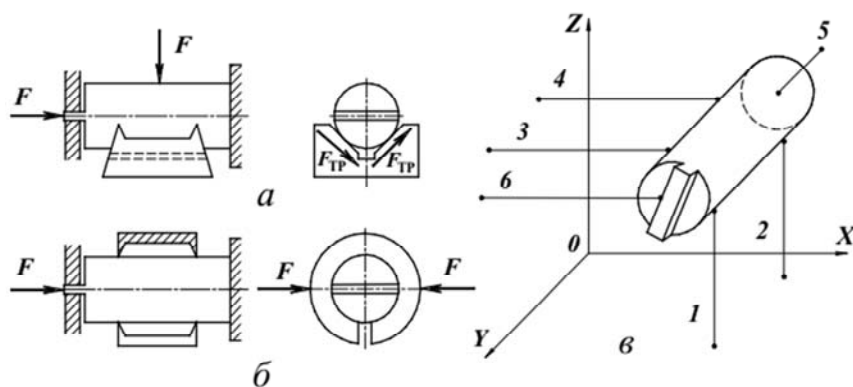


Рис. 3.8. Базирование и закрепление длинного цилиндрического тела

Установим и закрепим его на призме или в цанге (втулке с разрезами), лишив его тем самым четырех степеней свободы – перемещения и вращения относительно осей X и Z (рис. 3.8, а, б). Таким обра-

зом, получим четыре двусторонних связи в виде опорных точек 1–4 (рис. 3.8, в). Пятую связь получим, прижимая торцевую поверхность цилиндра к координатной плоскости XOZ . Это будет пятая опорная точка, которая устраняет возможность перемещения цилиндра вдоль собственной оси. Шестую связь, которая препятствует вращению цилиндра вокруг этой оси, можно получить геометрическим или силовым замыканием.

Геометрическое замыкание осуществляется соединением цилиндра с опорой с помощью шпонки или шипа, который может быть размещен на торце цилиндра. Эта связь является двусторонней и представлена в виде опорной точки 6 (рис. 3.8, в)

В этом случае положение цилиндра будет полностью определено.

Силовое замыкание получим, если цилиндр только прижать к призме или зажать в цанге без соединения шпонки или шипа с опорами. Тогда на базовой поверхности возникнут силы трения, которые будут препятствовать вращению цилиндра вокруг собственной оси. Такие связи будем называть фрикционными. На схеме (рис. 3.8, а) эти связи представлены силами трения $F_{тр}$. За счет сил трения осуществляется закрепление заготовки. Однако базирование заготовки в окружном направлении отсутствует, т. к. положение заготовки в этом направлении до закрепления может быть любым, а при базировании заготовка должна занимать вполне определенное положение. Поэтому фрикционная связь не уменьшает число степеней свободы заготовки. Очевидно, что для существования фрикционных связей необходимо, чтобы силы резания не превышали сил трения, которые возникают на опорных поверхностях при закреплении [2].

3.2.4. Короткое цилиндрическое тело

Цилиндрическое тело типа диска будем считать коротким, если его длина существенно меньше диаметра ($l \leq 0,6d$) [1, 2].

Прижмем диск к плоскости XOZ , лишив его трех степеней свободы, т. е. перемещения вдоль оси Y и вращения вокруг осей X и Z . Таким образом, получим три двусторонних связи в виде опорных точек 1–3 (рис. 3.9, в).

Контакт боковой поверхности диска с призмой (рис. 3.9, а) или втулкой с разрезом (рис. 3.9, б) лишает его двух степеней свободы, т. е.

перемещений вдоль осей X и Z с образованием двухсторонних связей в виде опорных точек 4 и 5. Шестую связь в виде опорной точки 6 можно получить, как и в предыдущем случае, с помощью шипа [3].

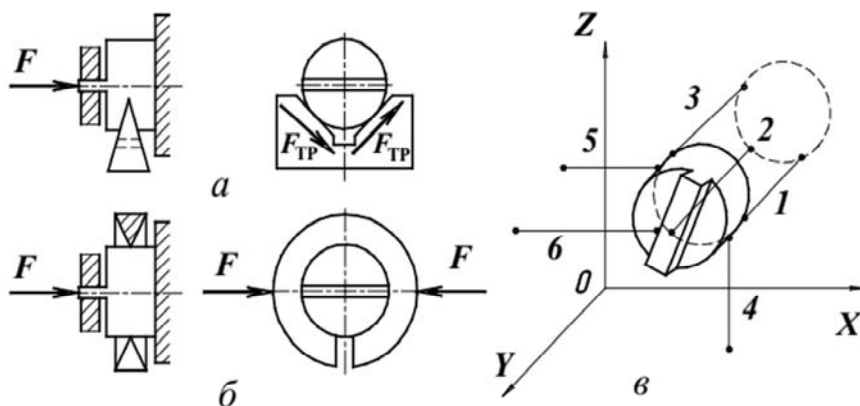


Рис. 3.9. Базирование и закрепление короткого цилиндрического тела

3.3. Основные принципы базирования при механической обработке

3.3.1. Принцип постоянства баз

При механической обработке заготовок, особенно сложной конфигурации, возникает необходимость менять их положение. Если при установке в новом положении меняются базы, то возникают отклонения от перпендикулярности, параллельности, соосности и другие погрешности между ранее и вновь обработанными поверхностями. Каждая новая смена баз увеличивает эти погрешности. В пределах одной операции, когда обработка ведется с одного установа, они минимальны. Таким образом, суть принципа постоянства баз можно сформулировать следующим образом. При механической обработке изделий для повышения точности расположения поверхностей число баз на всех операциях должно быть минимальным, и, если это возможно, следует использовать одну и ту же базу. В пределах одной операции необходимо стремиться вести обработку с одного установа.

Рассмотрим влияние смены баз на примере токарной обработки валика (рис. 3.10).

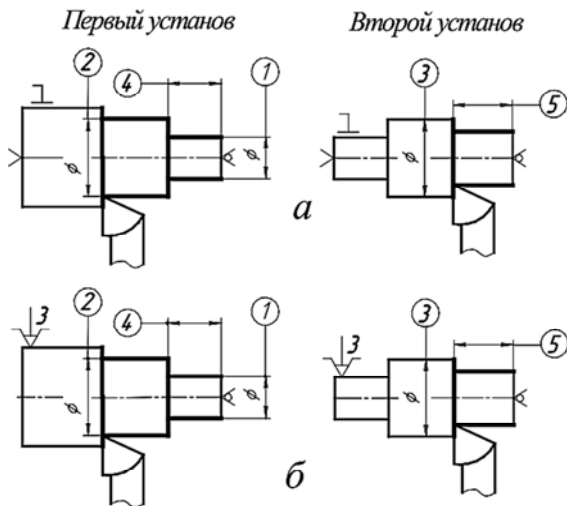


Рис. 3.10. Иллюстрация принципа постоянства баз при токарной обработке вала:
 а – в центрах без смены баз; б – в трехкулачковом патроне со сменой баз

Для данного случая возможны два варианта обработки: в центрах с поводковым патроном и в трехкулачковом патроне с поджатием вала с правого торца, вращающимся центром. Структура операции в обоих случаях одинакова. Операция выполняется за два установка. На первом установке обрабатываются поверхности 1 и 2, на втором – поверхность 3.

При обработке вала в центрах (рис. 3.10, а) базами являются центровые отверстия на торцах вала. При смене установка базы не меняются. Поэтому отклонения от соосности поверхностей, которые обрабатываются на разных установках, не возникает. При точении вала в трехкулачковом патроне базой является наружная поверхность заготовки. Ось этой поверхности совпадает с осью патрона. Ось обрабатываемой поверхности совпадает с осью шпинделя. Однако между осями патрона и шпинделя из-за погрешности приспособления имеется отклонение. Поэтому возникает отклонение от соосности базовой и обработанной поверхностей. При обработке вала в патроне (согласно рис. 3.13, б) поверхности 1 и 2 будут соосными,

т. к. они обрабатывались на одном установе. При смене установка базой становится поверхность 1, с которой будет обрабатываться поверхность 3. В силу вышеуказанных причин возникает отклонение от соосности этих поверхностей [3].

3.3.2. Принцип последовательности перемены баз

Согласно этому принципу, если обработка заготовки производится за несколько установов с переменной баз, то смену баз надо производить так, чтобы сначала обрабатывались поверхности с менее точными размерами и отклонениями, а затем с более точными. Если по технологии поверхность с точной геометрией обрабатывается в первую очередь, то в конце обработки изделия обработку этой поверхности следует повторить для получения окончательных размеров. Необходимость следовать этому принципу заключается в том, что при производстве заготовок литьем или обработкой давлением в металле из-за неравномерности нагрева, охлаждения, упрочнения и т. д. возникают внутренние (остаточные) напряжения. Эти напряжения снимают отжигом или старением заготовок. Полностью снять эти напряжения не удастся. Металл заготовки под действием внутренних напряжений находится в статическом равновесии. Удаление слоя металла с поверхности при механической обработке приводит к нарушению этого равновесия и перераспределению внутренних напряжений. При нарушении равновесия под действием напряжений возникают деформации, которые искажают геометрию изделия. Поэтому каждый акт снятия припуска с поверхности сопровождается деформациями заготовки. В этой связи поверхности, которые были обработаны в первую очередь и имели правильную геометрическую форму, могут ее потерять, что вызывает необходимость повторной обработки этих поверхностей.

3.3.3. Выбор черновых баз

Механическая обработка заготовок производится за несколько установов с использованием различных технологических баз. На первой операции используются черновые базы, т. е. необработанные поверхности. Обработанные на первой операции поверхности используются затем в качестве чистовых баз при последующей обработке.

При выборе черновых баз необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

1. Для надежного базирования и закрепления черновая база должна иметь простую форму, ровную поверхность, достаточные размеры и наименьшую шероховатость поверхности. Недопустимо использовать поверхности с остатками прибылей, литниковых систем, со следами разъема опок, штампов, пресс-форм и т. д. Черновые базы следует использовать только один раз. Дальнейшую обработку необходимо вести при установке заготовок на обработанные поверхности, т. е. чистовые базы. Положение заготовки при повторной установке на черновые базы из-за погрешностей их формы и расположения отличается от предыдущего. Обработка различных поверхностей с разных положений заготовки влияет на точность их взаимного расположения.

2. В качестве черновых баз следует выбирать поверхности, которые у готовой детали остаются необработанными.

В этом случае у готовой детали будет обеспечена точность взаимного расположения обработанных и необработанных поверхностей, например их параллельность. Для иллюстрации этого положения рассмотрим следующий пример. На рис. 3.11, *a* представлена деталь, у которой поверхности (А) и (Б) должны быть обработаны согласно чертежу.

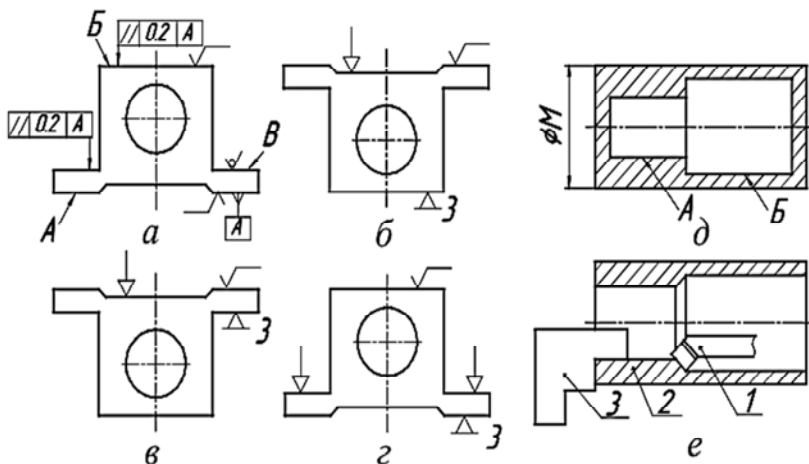


Рис. 3.11. Иллюстрации к выбору черновых баз:
1 – резец; 2 – заготовка; 3 – кулачок патрона

Пусть поверхность (А) из-за ее больших размеров выбрана в качестве установочной базы и обрабатывается первой. Затем будет обработана поверхность (Б). На первой операции при обработке поверхности (А) возможна установка на поверхность (Б) (рис. 3.11, б) или на поверхность (В) (рис. 3.11, в). Второй вариант установки является более рациональным, т. к. в этом случае на первой операции обеспечивается параллельность поверхностей (А) и (В), а затем на второй операции – параллельность им поверхности (Б) (рис. 3.11, г).

3. Если на детали обрабатывается несколько поверхностей, то на первом установе в качестве черновой базы следует выбирать поверхность, которая имеет наименьший припуск. Иначе некоторые участки этой поверхности могут остаться необработанными. При обработке резанием такие участки поверхности называют «черными». Рассмотрим пример. На рис. 3.11, д представлен вал, который обрабатывается на токарном станке. Пусть обработка производится с закреплением заготовки в трехкулачковом патроне за два установа. Закрепление детали по необработанной поверхности в патроне вызывает биение детали при вращении из-за погрешностей ее формы – овальности или огранки. Влияет также на величину биения отклонение от соосности патрона и шпинделя. При вращении происходит биение детали из-за погрешностей ее формы – овальности или огранки неравномерно. Поэтому чем больше биение, тем больший припуск приходится назначать на поверхность, которая обрабатывается. Так как заготовка имеет постоянный по длине диаметр, то поверхность (А) имеет больший припуск, чем поверхность (Б). В этой связи на первом установе следует сначала обработать поверхность (А), снизив тем самым погрешности ее формы, а следовательно, и биение заготовки при базировании по ней. Затем на втором установе обрабатывается поверхность (Б).

4. При токарной обработке тел вращения необходимо в качестве черновой базы выбирать поверхность, которая обрабатывается на данном установе. Это уменьшает биение обрабатываемой поверхности, что позволяет снизить припуск на обработку. Рассмотрим пример. На рис. 3.11, е представлена схема растачивания отверстия в литой заготовке. Такие отливки могут иметь значительное отклонение от соосности наружной и внутренней поверхностей. Если базирование осуществляется по внутренней поверхности, то минимальная величина припуска, удаляемого при обработке, будет опре-

деляться погрешностями ее формы и закрепления в трехлапчатом патроне. При базировании по наружной поверхности к этим погрешностям добавится погрешность из-за отклонения от соосности наружной и внутренней поверхностей исходной заготовки. В этой связи припуск на механическую обработку внутренней поверхности следует увеличить на величину этой погрешности, чтобы исключить образование на ней черных, т. е. необработанных участков [3].

3.3.4. Принцип совмещения или единства баз

Данный принцип следует использовать при обработке деталей партиями на предварительно настроенных станках по методу автоматического получения размеров. Суть принципа совмещения баз заключается в том, что для повышения точности обработки в качестве технологических баз следует выбирать поверхности, которые являются одновременно измерительными базами. Если технологическая база не совпадает с измерительной базой, то возникает погрешность базирования.

Погрешность базирования возникает из-за влияния рассеяния размера, полученного на предыдущей операции, на точность размера, который получается на текущей операции. Рассмотрим, как возникает эта погрешность. На рис. 3.12, а представлена деталь, при обработке которой необходимо выдержать размеры (а) и (в) с допусками $T_a = 0,36$ мм и $T_b = 0,61$ мм

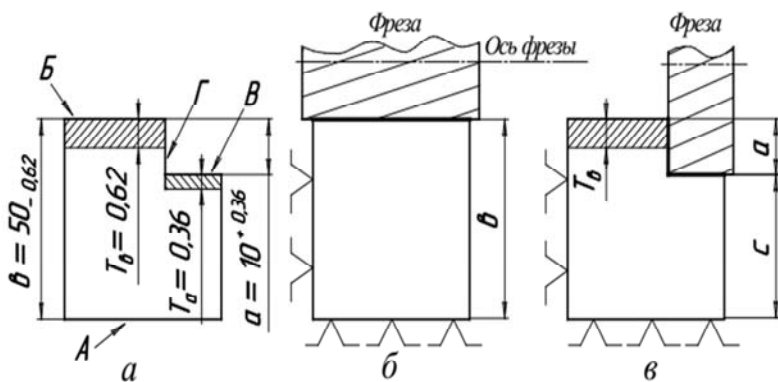


Рис. 3.12. Иллюстрации к образованию погрешности базирования

Эскизы операций механической обработки, т. е. рисунки с изображением положения заготовки, режущего инструмента, указанием баз, обрабатываемых поверхностей и их размеров, представлены на рис. 3.12, б, в. Пусть на первой операции на горизонтально-фрезерном станке обрабатывается поверхность (Б) в размер (в) с установкой на поверхность (А), которая является технологической установочной базой (рис. 3.12, а).

На второй операции с той же базы при удалении напуска образуется поверхность (Г), а также поверхность (В), привязанная к поверхности (Б) размером (а) (рис. 3.12, в). Поверхность (Б) является измерительной базой, т. к. от этой поверхности методом пробных ходов и замеров производилась настройка станка для получения размера (а). Тогда любой вариант настройки станка на второй операции не позволяет получить размер (а) в пределах его допуска для всей партии заготовок. Часть заготовок при этом может оказаться бракованной. Причиной брака является образование погрешности базирования из-за нарушения принципа совмещения технологической и измерительной баз, точнее из-за влияния рассеяния размера, полученного на предыдущей операции, на размер, который получается на текущей операции [1].

Рассмотрим возможность использования принципа совмещения баз для данного примера. Установим на второй операции заготовку на поверхность (Д) с упором в поверхность (Б) (рис. 3.13, а). Поверхность (Д) станет технологической установочной базой, а поверхность (Б) – технологической направляющей базой. В то же время поверхность (Б) была определена ранее как измерительная база, т. к. от этой поверхности был задан размер (а). Таким образом, имеет место совмещение технологической и измерительной баз. При такой установке поверхность (Б) для каждой заготовки будет занимать одно и то же положение, а положение поверхности (А) будет зависеть от рассеяния размера (в). Погрешность базирования из-за влияния рассеяния размера (в) на размер (а) не возникает, а допуск на размер (в) теперь может быть любым.

Другим вариантом решения является совмещение измерительной базы с технологической настроечной. В этом случае обработка ведется за один рабочий ход комплектом фрез, диаметр которых подобран так, чтобы выдерживался размер (а) в пределах заданного допуска (рис. 3.13, б).

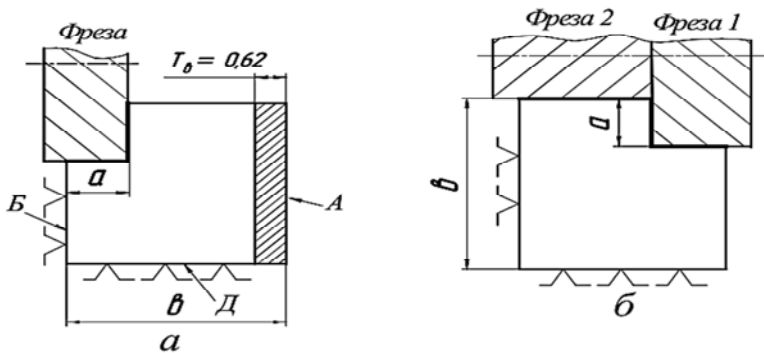


Рис. 3.13. Совмещение измерительной базы с технологическими:
a – направляющей; *б* – настроечной

3.4. Схемы базирования и установка заготовок на станках и в приспособлениях

При проектировании технологических процессов механической обработки необходимо решать задачу базирования и закрепления заготовки на станке или в приспособлении. Решение этой задачи заключается в выборе баз и устройств, необходимых для закрепления заготовки. Результаты этого решения оформляются в виде схем базирования и установки.

Схемой базирования, по ГОСТ 21495-76, называется схема расположения опорных точек на базах. На схеме базирования изображается контур изделия в проекциях и опорные точки на базах, которые символизируют двухсторонние связи. Схема базирования призматической детали по трем взаимно-перпендикулярным плоскостям с условным изображением опорных точек приведена на рис. 3.14.

Стандартом установлены следующие правила изображения схем базирования [1, 2]:

- все опорные точки на схеме изображают условными знаками и нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек;
- при наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую изображается одна точка, а около нее проставляют номера совмещенных точек;

– если опорные точки расположены на втором плане за контуром детали, то они изображаются штриховыми линиями;

– число проекций заготовки на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек.

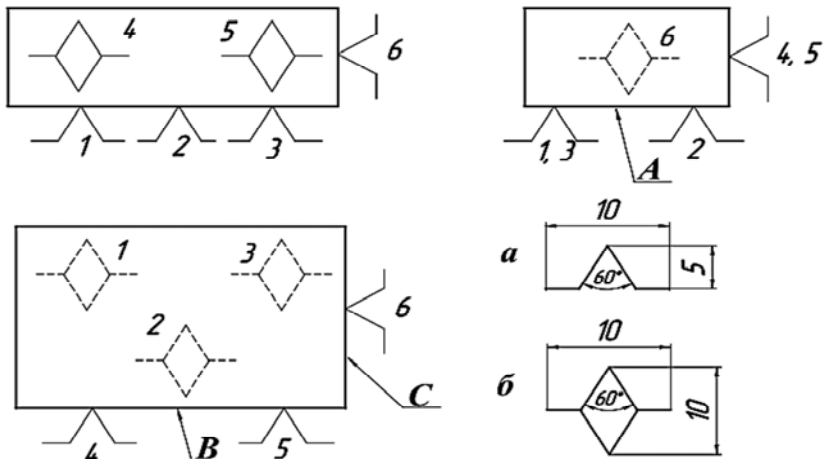


Рис. 3.14. – Схема базирования призматической детали с условным обозначением опорных точек 1–6:

a – на линии (контуре); *б* – на поверхности (плоскости),
A, B, C – базы детали

На схеме базирования указаны базы с опорными точками. Однако схема базирования не определяет, каким образом и с помощью каких устройств реализована та или иная двухсторонняя связь. Для этой цели в технологической документации оформляется схема установка, на которую наносят контур изделия, а также условные обозначения опор, зажимов и установочных устройств, с помощью которых производится базирование и закрепление заготовки. Графические обозначения установлены ГОСТ 3.1107-81 и представлены в табл. 3.1, 3.2, 3.4. В технологической документации для условных обозначений зажимов, опор и установочных устройств следует применять сплошную тонкую линию, согласно ГОСТ 2.303-79. В табл. 3.1 приведен один из вариантов конструкций опор.

Примечание: допускается обозначение подвижной, плавающей и регулируемой опор изображать как обозначение неподвижной опоры на аналогичных видах.

Для двойных зажимов длина плеч устанавливается разработчиком в зависимости от расстояния между точками приложения сил; Обозначение двойного зажима на виде спереди или сзади при совпадении точек приложения силы допускается изображать как обозначение одиночного зажима на аналогичных видах. Допускается упрощенное обозначение двойного зажима в виде рис. 3.15.

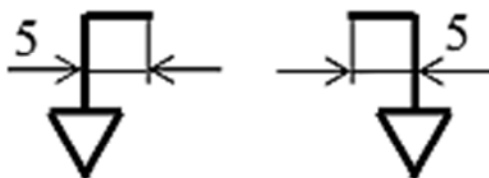


Рис. 3.15. Двойной зажим

Таблица 3.1

Условное обозначение опор
в технологической документации

Наименование опоры	Обозначение опоры на видах			Варианты конструкции
	Спереди, сзади	Сверху	Снизу	
1	2	3	4	5
1. Неподвижная				
2. Подвижная				

1	2	3	4	5
3. Плавающая				
4. Регулируемая				

Таблица 3.2

Условное обозначение зажимов
в технологической документации

Наименование зажима	Обозначение зажимов на видах		
	Спереди, сзади	Сверху	Снизу
1	2	3	4
1. Одиночный			
2. Двойной			

На рис. 3.16 показаны принципиальные схемы действия одиночного и двойного зажимов.

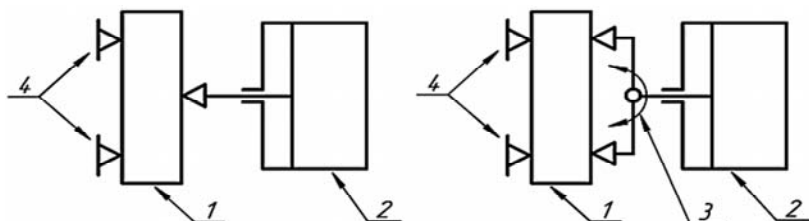


Рис. 3.16. Схема действия одиночного и двойного зажима:
 1 – заготовка; 2 – пневмо- или гидроцилиндр;
 3 – шарнир; 4 – неподвижные опоры

Применение двойного зажима уменьшает прогиб заготовки, что повышает точность обработки. Шарнирное соединение коромысла зажимов со штоком цилиндра обеспечивает одновременный контакт обоих зажимов с заготовкой.

Условные обозначения зажимов различного типа и действия представлены на рис. 3.17. Количество точек приложения сил зажима к изделию показывают справа от обозначения зажима, а принцип действия – слева, за исключением цанговых устройств.

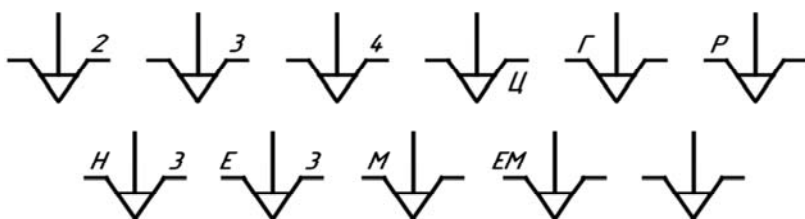


Рис. 3.17. Условные обозначения зажимов различного типа и действия:
 2, 3, 4 – патроны двух-, трех- и четырехкулачковые;
 Ц – патроны и оправки цанговые; Г – патроны и оправки
 с гидрораспределителем; патроны и зажимы: Р – пневматические;
 Н – гидравлические; Е – электрические; М – магнитные;
 ЕМ – электромагнитные; без обозначения – прочие

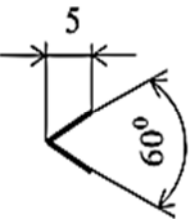
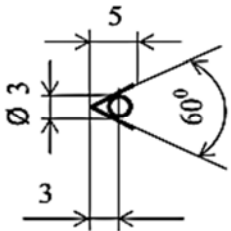
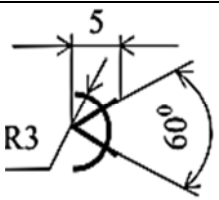
К **установочным устройствам** стандартом отнесены: центр неподвижный, центр вращающийся, центр плавающий, оправка цилиндри-

ческая, оправка шариковая (роликовая), патрон поводковый (табл. 3.3). Для указания формы рабочей поверхности опор, зажимов и установочных устройств применяются обозначения, представленные в табл. 3.3. Обозначение форм рабочих поверхностей наносят слева от обозначения опоры, зажима или установочного устройства [3].

Примечание: допускается обозначение опор и установочных устройств, кроме центров, наносить на выносных линиях соответствующих поверхностей.

Таблица 3.3

Условное обозначение установочных устройств
в технологической документации

Наименование установочного устройства	Обозначение установочного устройства на видах	
	Спереди, сзади, сверху, снизу	Слева, справа
1	2	3
1. Центр неподвижный		Без обозначения
2. Центр вращающийся		Без обозначения
3. Центр плавающий		Без обозначения

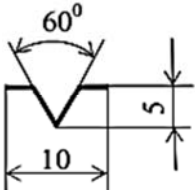

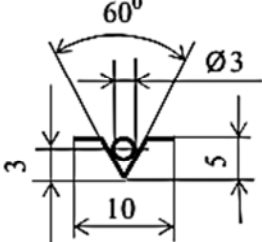

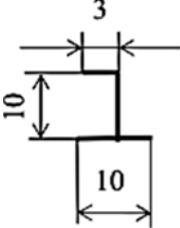

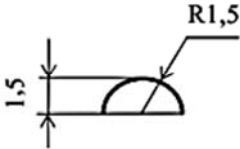

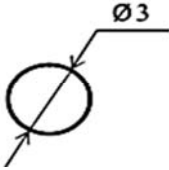
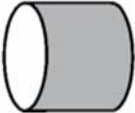
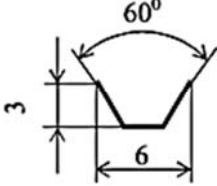
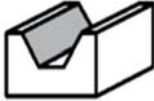
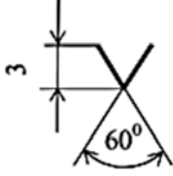
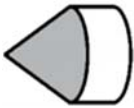
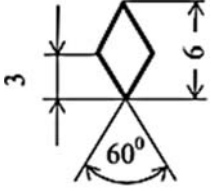
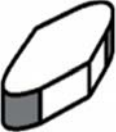


1	2	3
4. Оправка цилиндрическая		
5. Оправка шариковая		
6. Патрон поводковый		

Таблица 3.4

Условные обозначения формы рабочей поверхности опор, зажимов и установочных устройств

Наименование формы рабочей поверхности	Обозначение формы рабочей поверхности на всех видах	Форма реальной поверхности
1	2	3
1. Плоская		

1	2	3
2. Сферическая		
3. Цилиндрическая (шариковая)		
4. Призматическая		
5. Коническая		
6. Ромбическая		
7. Трехгранная		

Для указания рельефа рабочих поверхностей (рифленая, резьбовая, шлицевая) следует применять обозначения, приведенные на рис. 3.18.

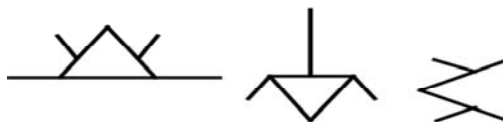


Рис. 3.18. Условное обозначение опоры, зажима и неподвижного центра с рифленой поверхностью

Из всего вышесказанного следует, что механическая обработка заготовок производится за несколько установов с использованием различных технологических баз. На первой операции используются черновые базы, т. е. необработанные поверхности. Обработанные на первой операции поверхности используются затем в качестве чистовых баз при последующей обработке [1–3].

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ТЕМА 4. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (ОМД)

Процесс обработки металлов давлением (ОМД) – это придание материалу требуемой формы, размеров и физико-механических свойств без нарушения его сплошности путем пластической деформации. Существенными достоинствами ОМД являются: возможность значительного уменьшения отхода металла (до 20–70 %) по сравнению с обработкой резанием; возможность повышения производительности труда, так как в результате однократного приложения усилия можно значительно изменить форму и размеры деформируемой заготовки; изменение физико-механических свойств металла заготовки в процессе пластической деформации, которое можно использовать для получения деталей с наилучшими служебными свойствами (прочностью, жесткостью, сопротивлением износу и т. д.) при наименьшей их массе. Эти достоинства приводят к тому, что удельный вес ОМД в металлообработке неуклонно растет. Совершенствование технологических процессов ОМД, а также применяемого для этих целей оборудования приводит к расширению номенклатуры деталей, изготавливаемых обработкой давлением, к увеличению диапазона деталей по массе и размерам, к повышению точности размеров полуфабриката, получаемого в результате ОМД.

4.1. Общие сведения

Обработка металлов давлением основана на их пластической деформации под действием внешних сил, в результате которой металлическая заготовка приобретает определенную форму и размеры. В ходе пластической деформации зерна измельчаются, структура металла в целом улучшается и, как следствие, улучшаются механические свойства (рис. 4.1).

Если при упругих деформациях деформируемое тело полностью восстанавливает исходные форму и размеры после снятия всех внешних сил, то при пластических деформациях изменение формы и размера, вызванное действием внешних сил, сохраняется и после прекращения действия этих сил.

Существенные преимущества обработки металлов давлением по сравнению с другими, например обработкой резанием, – возможность

значительного уменьшения отхода металла, а также повышения производительности труда, поскольку в результате однократного приложения деформирующей силы можно значительно изменить форму и размеры деформируемой заготовки. Кроме того, пластическая деформация сопровождается изменением физико-механических свойств металла заготовки, что можно использовать для получения деталей с наилучшими эксплуатационными свойствами прочностью, жесткостью, высокой износостойкостью и т. д. при наименьшей их массе [5].

Обработке металлов давлением (ОМД) поддаются только пластичные металлы и сплавы, а хрупкие (например, марганец, чугун) пластически не деформируются, и поэтому к ним ОМД не применяют. Пластичность металлов (и сплавов) при нагревании повышается.

Поэтому некоторые металлы и сплавы (например, свинец, алюминий, однофазная латунь) обычно подвергают ОМД в холодном состоянии, другие (например, сталь) – как в холодном, так и в горячем состоянии. При ОМД большая часть имеющихся в отливке микротрещин, пор и газовых раковин завариваются. В результате повышается плотность металлов, улучшается также их структура – становится мелкозернистой с размерами кристаллитов от сотых до десятых долей миллиметра, в результате существенно улучшаются механические свойства. При этом образуется волокнистая структура с выраженной анизотропией механических, магнитных и электрических свойств.

Заготовки, получаемые ОМД для последующей механической обработки, называют поковками [6].

4.2. Физические основы ОМД

Обработка металлов давлением основана на способности металлических материалов пластически деформироваться в результате воздействия внешних сил. *Деформацией* называется изменение форм и размеров тела под действием напряжений.

Растущее напряжение вызывает в металле вначале упругую деформацию, затем пластическую и, наконец, разрушение.

Деформация, исчезающая после снятия нагрузки, называется *упругой*, а сохраняющаяся – остаточной, или *пластической*.

Упругая деформация – обратимая. Атомы смещаются из положения равновесия, а после снятия нагрузки возвращаются на свои места.

Пластическая деформация остается после снятия нагрузки. Атомы смещаются на значительные расстояния и занимают новые устой-

чивые положения. Слои металла смещаются относительно друг друга, идет скольжение слоев.

При достижении некоторой величины напряжения происходит разрыв межатомных связей, зарождается и растет трещина – происходит *разрушение*.

Законы пластической деформации:

1. Закон постоянства объема: объем тела до деформации равен его объему после деформации (рис. 4.1). Используется для определения размеров заготовок.



Рис. 4.1 Закон постоянства объема

2. Закон наименьшего сопротивления: каждая точка деформируемого тела перемещается в направлении наименьшего сопротивления (рис. 4.2). Используется для определения формы изделия после ОМД.

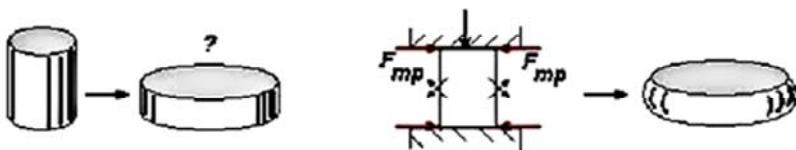


Рис. 4.2. Закон наименьшего сопротивления

Бочкообразная форма поковки объясняется действием сил трения между заготовкой и бойками молота.

3. Закон сдвигающего напряжения: пластическая деформация начнется, если сдвигающие напряжения достигнут определенной величины, зависящей от материала тела и условий деформирования. Используется при расчетах необходимого усилия прессования:

$$\sigma = \frac{P}{F} \left[\frac{H}{M^2}, \text{ МПа} \right],$$

где σ – напряжение;
 P – сила;
 F – площадь сечения.

$$\sigma_{02} < \sigma < \sigma_B,$$

где σ_{02} – предел текучести;
 σ_B – предел прочности.

4.3. Влияние обработки давлением на структуру и свойства металла

В каждом металле при вполне определенной максимальной пластической деформации возникают микротрещины и микропоры, которые развиваются, растут и приводят к его разрушению.

Эта деформация характеризует пластичность металла и определяется путем проведения испытаний в различных условиях деформации.

При нагреве пластичность металла увеличивается, а сопротивление деформированию уменьшается.

Это объясняется тем, что в процессе пластической деформации наряду с упрочнением (наклепом) наблюдается разупрочнение, т. е. восстановление пластичности.

В зависимости от соотношения скоростей этих двух процессов различают холодную, неполную горячую и горячую деформацию.

4.4. Классификация видов ОМД

Процессы ОМД по назначению подразделяют на два вида:

- 1) для получения заготовок постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов и других профилей); основные разновидности – прокатка, прессование и волочение;
- 2) для получения заготовок, близких по форме и размерам к готовому изделию; основные разновидности – ковка и штамповка.

4.4.1. Холодная ОМД

Холодная деформация сопровождается упрочнением металла в полном объеме, так как процессы разупрочнения (рекристаллизация, возврат) не успевают протекать.

При холодной ОМД в результате пластической деформации зерна (и блоки в них) измельчаются и вытягиваются в направлении наибольшего течения металла (рис. 4.3, а–в), а кристаллическая решетка искажается (деформируется): в ней увеличиваются дефекты – возрастает плотность дислокаций и концентрация вакансий. Происходит упрочнение металла, называемое наклепом. **Наклеп всегда образуется при холодной ОМД.** Наклеп повышает твердость и предел прочности на разрыв σ_b металлов, но снижает относительное удлинение перед разрывом δ (пластичность) и вязкость (см. рис. 4.3, д), несколько понижает удельную электропроводность γ и коррозионную стойкость.

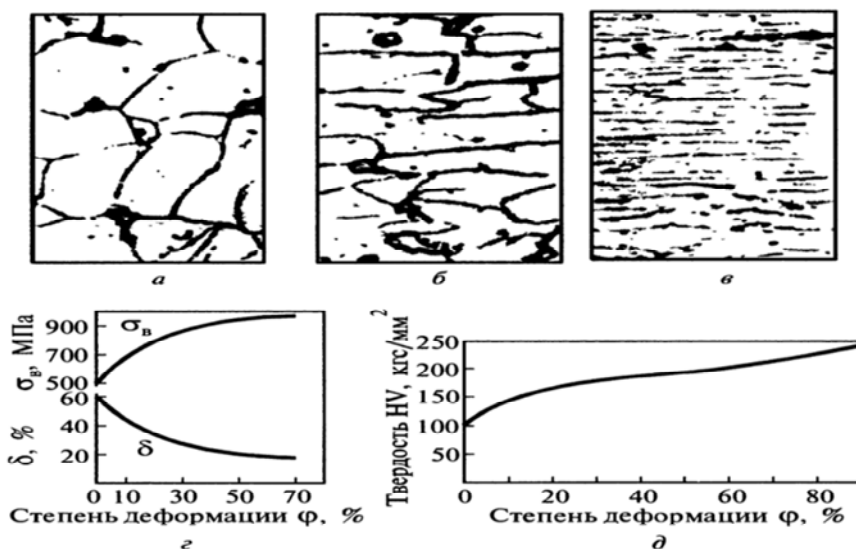


Рис. 4.3. Структура и механические свойства стали ($C = 0,09\%$) в зависимости от степени деформации (обжатия) ϕ , %:
 а – до деформации; б – $\phi = 35\%$; в – $\phi = 90\%$; г – зависимость σ_b и δ от ϕ ;
 д – зависимость твердости по Виккерсу HV от ϕ

Чтобы металл не разрушался при дальнейшей деформации, на определенной стадии ОМД наклеп снимают рекристаллизационным отжигом.

При отжиге стали, начиная от температуры $550\text{ }^\circ\text{C}$ и выше, вытянутые в результате деформации зерна становятся равноосными. Они (и блоки в них) укрупняются, одновременно снижаются внут-

ренные напряжения и значительно выпрямляется кристаллическая решетка. В результате повышаются удельная электропроводность ϕ и пластичность при некотором снижении твердости и предела прочности на разрыв (рис. 4.3).

Рекристаллизационный отжиг уменьшает плотность дислокаций (с 10^{10} – 10^{12} см⁻² до 10^6 – 10^8 см⁻²). Температура рекристаллизационного отжига $T_{\text{рекр}}$ углеродистой стали зависит от ее состава и составляет $T_{\text{рекр}} \sim 650$ – 700 °С.

Для меди наилучшей $T_{\text{рекр}}$ является температура примерно 500–700 °С (температура начала заметного отжига равна ~ 200 °С), алюминия – $T_{\text{рекр}} = 330$ – 370 °С (начало заметного отжига при -150 °С). В общем виде для металлов $T_{\text{рекр}} = 0,4T_{\text{пл}}$. В зависимости от температуры и времени отжига, степени деформации ϕ , природы металла и т. д. величина зерна может уменьшиться или увеличиться. При уменьшении зерна существенно улучшаются механические свойства, но увеличивается ρ . При укрупнении зерна у электротехнических сталей и технического железа улучшаются магнитные свойства [3].

При *неполной горячей деформации* происходят частичное восстановление искаженной кристаллической структуры и уменьшение остаточных напряжений в металле.

Они наблюдаются при температуре $T_{\text{рекр}} = (0,25 \dots 0,3)T_{\text{пл}}$, где $T_{\text{пл}}$ – температура плавления металла.

При неполной горячей пластической деформации металл упрочняется в меньшей степени, чем при холодной, и приобретает строчечную и волокнистую структуру.

4.4.2. Горячая ОМД

Горячая деформация характеризуется таким соотношением скоростей деформирования и рекристаллизации, т. е. зарождения и роста новых равноосных зерен с неискаженной кристаллической структурой, при котором рекристаллизация успевает произойти во всем объеме металла. Рекристаллизация полностью ликвидирует строчечную структуру и упрочнение деформированного металла. Для чистых металлов она протекает при температуре $T_{\text{рекр}} > 0,47T_{\text{плав}}$.

Горячую ОМД осуществляют при температуре $T > T_{\text{рекр}}$, которая обычно равна $(0,7$ – $0,75)T_{\text{пл}}$. При этой температуре одновременно с деформацией происходит рекристаллизация, поэтому наклепа не об-

разуется. При горячей ОМД зерна и расположенные между ними неметаллические включения (так же, как и при холодной ОМД) вытягиваются, и структура металла становится волокнистой (рис. 4.4) [5, 6].

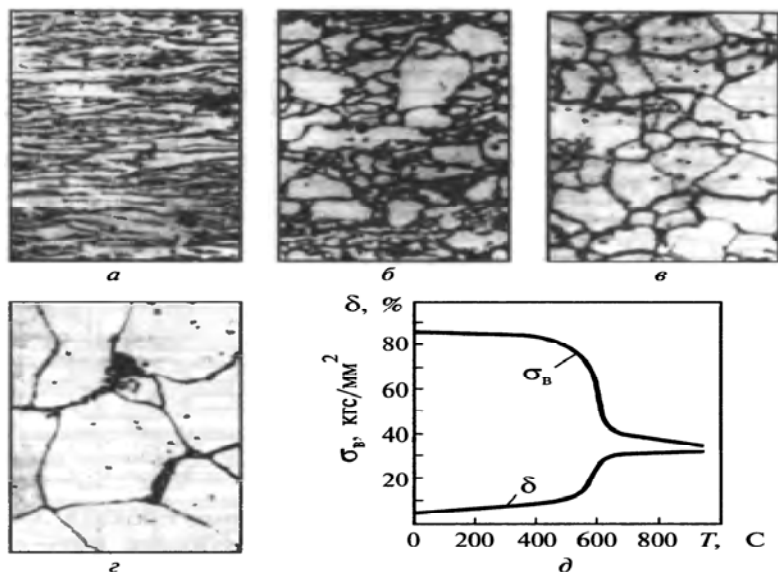


Рис. 4.4. Структура и механические свойства наклепанной (обжатие = 90 %) стали (C = 0,09) в зависимости от температуры отжига: а – 550 °С, б – 600 °С, в – 650 °С, г – 800 °С (время отжига 1 ч); д – зависимость предела прочности на разрыв $\sigma_{\text{в}}$ и относительного удлинения перед разрывом $\delta_{\text{от}}$ температуры отжига

Поскольку при нагревании пластичность металлов увеличивается, горячую ОМД целесообразно применять для стальных отливок и труднодеформируемых, малопластичных металлов и сплавов. Однако при горячей ОМД окислительные процессы протекают более интенсивно, вследствие чего качество поверхности поковок и точность размеров хуже, чем при холодной ОМД [6].

4.5. Основные виды обработки металлов давлением

Основными видами ОМД являются: прокатка, прессование, волочение, ковка, объемная и листовая штамповка.

4.5.1. Технология прокатного производства

Прокатка заключается в пластической деформации металла в результате обжатия заготовки 2 между двумя вращающимися валками 1 (рис. 4.5, а).

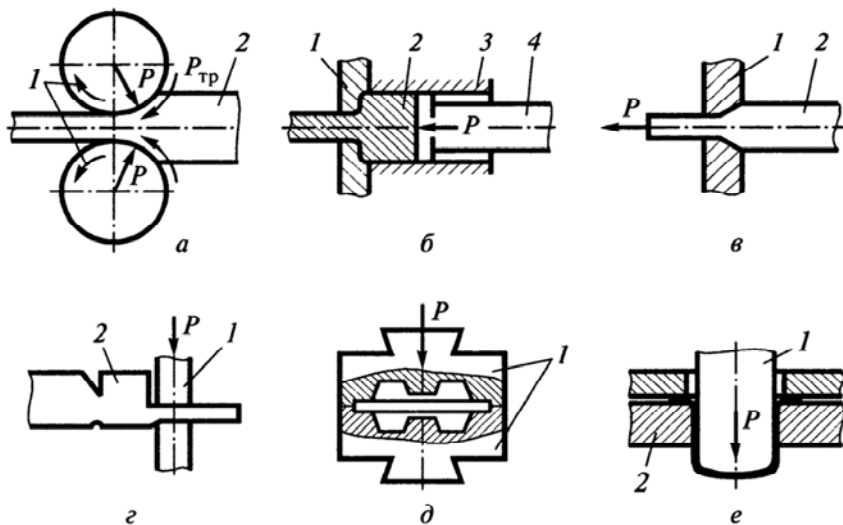


Рис. 4.5. Схемы основных видов обработки металлов давлением: а – прокатка; б – прессование; в – волочение; г – свободная ковка; д – объемная штамповка; е – листовая штамповка

Наиболее общая схема технологического процесса прокатки включает:

- 1) подготовку исходного материала к прокатке;
- 2) нагрев металла перед прокаткой;
- 3) собственно прокатку;
- 4) отделку и контроль качества проката.

Исходным продуктом для прокатки могут служить квадратные, прямоугольные или многогранные слитки, прессованные плиты или кованные заготовки. Процесс прокатки осуществляется как в холодном, так и горячем состоянии. Начинается в горячем состоянии и проводится до определенной толщины заготовки. Тонкостенные изделия в окончательной форме получают, как правило, в холодном

виде (с уменьшением сечения увеличивается теплоотдача, поэтому горячая обработка затруднена).

При прокатке силы трения $P_{тр}$ втягивают заготовку между валками, и под действием сил P , нормальных к поверхности валков, уменьшается толщина заготовки. Цель прокатки – получение продукции разнообразной формы и различными размерами поперечного сечения. Форму поперечного сечения прокатанной продукции называют *профилем*. Перечень разных профилей, имеющих различные геометрические размеры, составляет сортамент проката.

Сортамент прокатываемых профилей разделяют на пять основных групп: сортовой прокат, листовой, трубный, специальный и периодический (рис. 4.6).

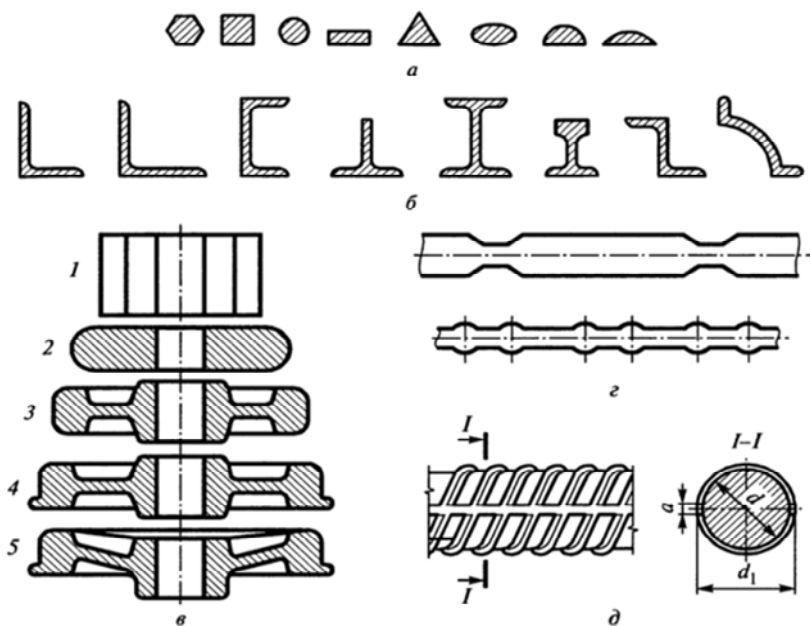


Рис. 4.6. Основные профили проката:
 а – простой профиль; б – фасонный профиль;
 в – специальный прокат; г – периодический профиль;
 д – периодический профиль – арматурная сталь

1. **Сортовой прокат** в свою очередь делят на две подгруппы. *Простые* профили (профили простой геометрической формы) – ше-

стигранник, квадрат, круг, полоса, треугольник, овал, полукруг, сегмент и др. (см. рис. 4.6, *a*). Для шестигранника и квадрата стандартизируется диаметр вписанной окружности (у квадрата его сторона равна диаметру вписанной окружности), для треугольника – размер стороны, для круга – диаметр, для полосы – ширина и толщина. Кроме того, для простого профиля стандартизируется масса 1 м длины профиля. Круглая, квадратная и шестигранная стали имеют размер диаметра вписанного круга от 5–250 мм, полосовая сталь – ширину 12–300 мм и толщину 3–80 мм. Квадратные и шестигранные бронзовые прутки имеют диаметр вписанной окружности от 5–6 до 11–17 мм. Простой профиль обычно идет либо на дальнейшую обработку давлением (ковку, штамповку), либо на механическую обработку.

Фасонные профили (профили сложной геометрической формы): угловой профиль (неравнобокий и равнобокий), швеллеры, тавровые и двутавровые балки, рельсы, зетовая и колонная стали и др. (см. рис. 4.6, *b*). Размеры фасонного профиля стандартизованы и определяются его номером. Номером профиля угловой стали равнобокой является размер ее стороны в миллиметрах, деленный на 10; он изменяется от № 2 (размер стороны 20 мм) до № 20 (размер стороны 200 мм) [6].

Для угловой стали неравнобокой номер профиля определяется размерами обеих сторон в миллиметрах, деленными на 10; номер изменяется от № 2,5/1,6 (размер одной стороны 25 мм, другой – 16 мм) до № 18/10 (180/100 мм).

Номера профилей швеллера, тавровой и двутавровой балок соответствуют их высоте в миллиметрах, деленной на 10. Номер профилей у стального швеллера изменяется от № 5 (высота 50 мм) до № 40 (высота 400 мм), у двутавровой стали от № 10 (высота 100 мм) до № 40 (высота 400). Кроме того, у фасонного профиля стандартизируется размер основания, толщина стенки, площадь поперечного сечения, масса 1 м длины профиля.

2. Листовой прокат делится на толстолистовой (толщина $h > 4$ мм), тонколистовой ($h < 4$ мм) и фольгу ($h < 0,2$ мм). Листовая сталь, кроме того, делится на электротехническую (толщина 0,1–1,0 мм, ширина 500–1000 мм, у холоднокатаной ширина 1100 мм и длина 600–2000 мм), судостроительную, котельную, автотракторную, для цельнометаллических вагонов ($h = 2–3$ мм), кровельную ($h = 0,38–0,82$ мм, ширина 710 мм и длина 1420 мм) и др., а также

листовую сталь с оловянным, цинковым, медным, алюминиевым и полимерным покрытием.

3. **Трубный прокат** наиболее широко используют для водо-, нефте- и газопроводов. Трубы бывают сварные и бесшовные. Трубы сварные производят из углеродистых и низколегированных сталей с наружным диаметром 5–2500 мм и толщиной стенки 0,5–16 мм. Трубы бесшовные (цельнотянутые) прокатывают из углеродистых и легированных сталей с наружным диаметром 30–650 мм и толщиной стенки 0,2–16 мм.

4. **Специальный прокат** включает в себя цельнокатаные дисковые вагонные колеса, шестерни, шары и другие детали относительно сложного профиля (см. рис. 4.6, в) [6].

5. **Периодический прокат** – это прокат с периодически изменяющимся профилем вдоль оси заготовки (см. рис. 4.4, г). Его используют в качестве заготовки для последующей штамповки или механической обработки, а также в качестве арматуры железобетонных конструкций (см. рис. 4.6, д). Периодический прокат часто рассматривают как специальный прокат. Существуют сортаменты выше-рассмотренных прокатываемых профилей из цветных металлов и сплавов на их основе. Обычно из них производят сортовой прокат простого профиля, листовой прокат и трубный.

Метизы. Существует большая группа металлических изделий, называемых метизами, к которым относятся заклепки, болты, гайки, винты, шайбы, шпильки, шурупы, гвозди и другие изделия.

Основное их назначение – крепление деталей. Метизы изготавливают из углеродистых сталей, в том числе с гальваническим покрытием из кадмия, цинка и др., а также из цветных металлов и сплавов на их основе, когда требуется высокая электропроводность или отсутствие ферромагнитных свойств.

В практике ОМД применяют следующие скорости деформации: на прессах и ковочных машинах – 0,1–0,5 м/с; на молотах – 5–10 м/с; на прокатных станах – 0,1–35 м/с.

4.5.2. Прессование

Прессование – способ обработки металлов давлением, при котором металл выдавливают из замкнутой полости через отверстие инструмента, называемого *матрицей*, в результате чего получают из-

делие с сечением по форме отверстия матрицы. Чем выше температура металла, тем легче протекает процесс прессования. Этим методом получают прутки, трубы и другие изделия более сложных профилей (рис. 4.7) [5–7].

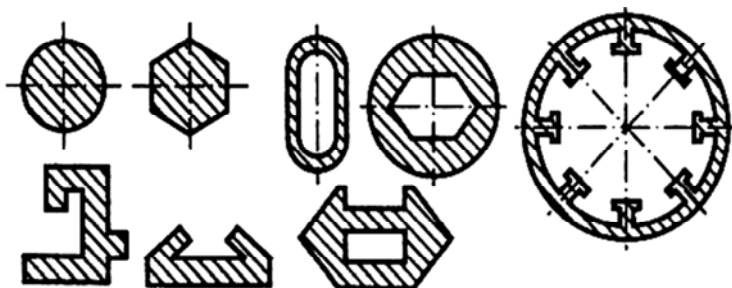


Рис. 4.7. Примеры профилей, получаемых прессованием

При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию, благодаря чему имеет высокую пластичность. Коэффициент, характеризующий *степень деформации* и определяемый как отношение площади сечения заготовки к площади сечения прессуемого профиля, при прессовании составляет 10–50.

Существует два способа прессования: прямой и обратный.

При *прямом прессовании* (рис. 4.8, а) заготовку 1 помещают в контейнер 4, укрепленный на раме 5 пресса, в отверстие которой устанавливают матрицу.

При *обратном прессовании* (рис. 4.8, в) заготовка 3 помещается в глухой контейнер 4 и при прессовании остается неподвижной, а деформируемый металл при движении матрицы 6 перемещается навстречу ей.

Обратное прессование требует меньших усилий, и остаток металла (пресс-остаток) от прессуемой заготовки меньше, чем при прямом, но техническое выполнение процесса для длинных заготовок проще при прямом прессовании.

Основными причинами образования пресс-остатка являются ускоренное охлаждение поверхности заготовки за счет ее контакта с контейнером и наклеп поверхностных слоев в связи с трением о стенки контейнера. Так как при прямом прессовании перемещение поверхностных слоев заготовки больше, чем при обратном прессовании,

то, соответственно, и усилие прессования, неравномерность деформации и пресс-остаток также будут больше.

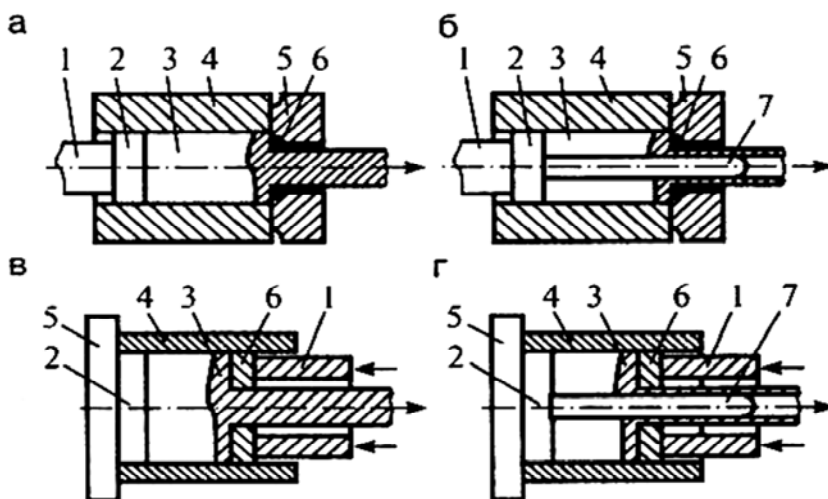


Рис. 4.8. Схемы прямого прессования сплошного (а) и полого (б) профилей и обратного прессования сплошного (в) и полого (г) профилей

Для прессования труб и полых профилей в заготовке необходимо предварительно получить сквозное отверстие, которое в большинстве случаев прошивают на том же прессе.

В процессе прессования (рис. 4.8, б, г) металл заготовки 3 выдавливается пуансоном 1 в зазор между матрицей 6 и иглой 7.

Инструмент при прессовании работает в очень тяжелых условиях, при высоких давлениях и температурах. Износ его уменьшают применением смазочных материалов, которые снижают коэффициент трения на поверхности контакта матрицы и деформируемого металла. В качестве смазки применяют графит, дисульфид молибдена и специальные виды жидкого стекла. Применение жидкого стекла при прессовании труб позволяет уменьшить трение и увеличить скорость выдавливания, предохраняя в то же время инструмент от перегрева.

Заготовкой при прессовании служит слиток или прокат.

Большое влияние на качество поверхности и точность прессованных профилей оказывает состояние поверхности заготовки. По-

этому заготовку чаще всего предварительно обтачивают на станке, а после нагрева ее поверхность тщательно очищают от окалины.

К недостаткам прессования следует отнести значительные отходы, так как весь металл заготовки не может быть выдавлен из контейнера через отверстие матрицы, и в нем остается так называемый пресс-остаток, который после окончания прессования отрезается от полученного профиля.

При прессовании труб большого диаметра масса пресс-остатка может достигать 40 % массы исходной заготовки.

Прессованием получают изделия разнообразного сортамента из цветных металлов (Си, Рb, Al, Zn, Mg и др.) и их сплавов: прутки диаметром 3–250 мм, трубы диаметром 20–400 мм со стенкой толщиной 1,5...12 мм и другие профили (см. рис. 4.5).

Из углеродистых сталей 20, 30, 40, 50, конструкционных 30ХГСА, 40ХН, коррозионностойких 12Х18Н10Т и других высоколегированных сталей прессуют трубы с внутренним диаметром 10–160 мм со стенкой толщиной 2–10 мм, профили с полкой толщиной 2–2,5 мм и линейными размерами поперечных сечений до 200 мм.

4.5.3. Прокатка

Прокаткой называют вид обработки давлением, при котором металл пластически деформируется вращающимися гладкими или имеющими соответствующие канавки (ручьи) валками [5, 6].

Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными. При этом получают *прокат* – готовые изделия или заготовки для последующей обработки ковкой, штамповкой, прессованием, волочением или резанием. В прокат перерабатывают до 80 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов и сплавов, его используют в строительстве, машиностроении и других отраслях промышленности.

Существует три основных вида прокатки: продольная, поперечная и поперечно-винтовая (косая).

При **продольной прокатке** (рис. 4.9, 1) заготовка 2 деформируется между гладкими или имеющими калибры валками 7, вращающимися в противоположные стороны, и перемещается перпендикулярно к осям валков.

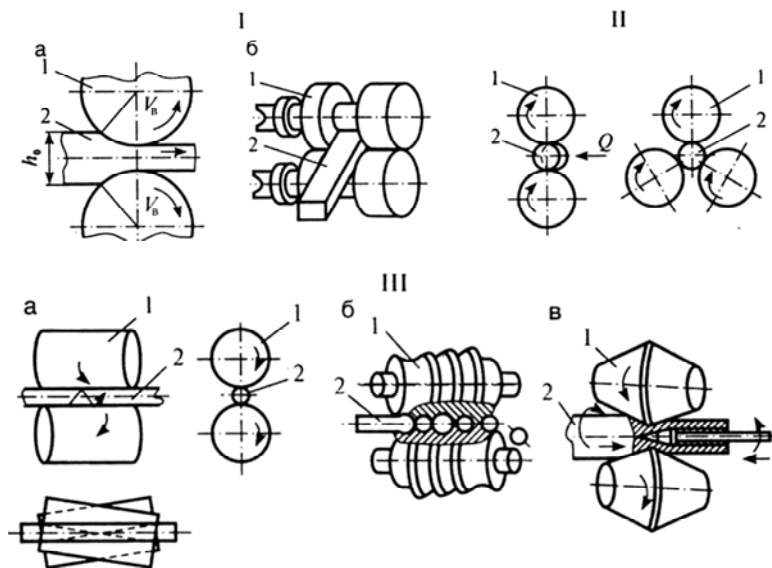


Рис. 4.9. Основные виды прокатки:

- I* – продольная прокатка (*a* – в гладких валках; *б* – в калибрах);
II – поперечная прокатка; *III* – поперечно-винтовая (косая) прокатка
 (*a* – в гладких валках; *б* – в спиральных валках;
в – винтовая (косая) прокатка труб)

При **поперечной прокатке** (рис. 4.9, *II*) валки вращаются в одном направлении, оси их параллельны, а заготовка 2 деформируется ими, вращаясь вокруг своей оси.

Во время прокатки заготовка непрерывно втягивается в зазор между валками под действием сил трения между ними и поверхностью заготовки.

Для осуществления процесса прокатки необходима определенная величина сил трения. Так, во время продольной прокатки заготовка находится под действием двух основных сил: трения T и нормальной N , действующей со стороны валков. Спроецировав эти силы на горизонтальную ось, можно записать условие захвата металла: при холодной прокатке в шлифованных валках угол захвата равен $3-4^\circ$, а в валках с грубой поверхностью – $5-8^\circ$. При горячей прокатке в гладких валках угол захвата достигает $15-22^\circ$, а при прокатке в валках с насечкой – $27-34^\circ$.

Оборудование. Прокатные станы

Прокатным станом называется технологический комплекс последовательно расположенных машин и агрегатов, предназначенных для пластической деформации металла в валках (собственно прокатки), дальнейшей его обработки и отделки (правки, обрезки кромок, резки на мерные изделия и пр.) и транспортировки.

На практике прокатным станом часто называют оборудование, непосредственно связанное с деформацией прокатываемого металла в валках.

На рис. 4.10 представлена общая кинематическая схема такого стана.

В рабочей клетке 1 в подушках с подшипниками расположены валки 2, вращательное движение на которые передается от главного электродвигателя 7 через редуктор 6, муфты 5, шестеренную клетку 4 и шпиндели 3.

В зависимости от *конструкции* и расположения валков рабочие клетки прокатных станов подразделяют на шесть групп (рис. 4.11): дуо, трио, кварто, многовалковые, универсальные и специальной конструкции.

Клетки дуо (двухвалковые) бывают реверсивные (прокатка ведется в обе стороны) и нереверсивные (прокатка ведется в одну сторону).

Клетки трио (трехвалковые) чаще всего нереверсивные. Прокатка на таких станах ведется вперед между нижним и средним валком и назад между верхним и средним.

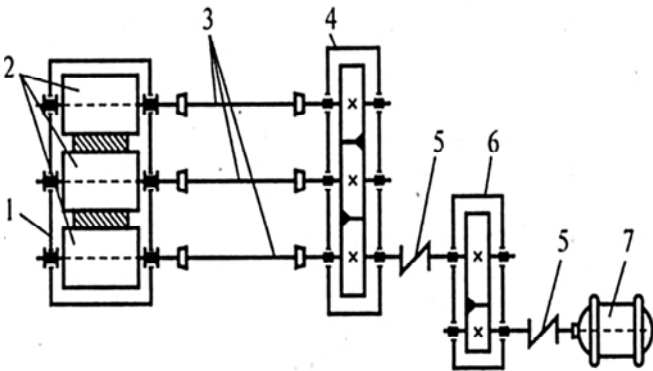


Рис. 4.10. Кинематическая схема прокатного стана

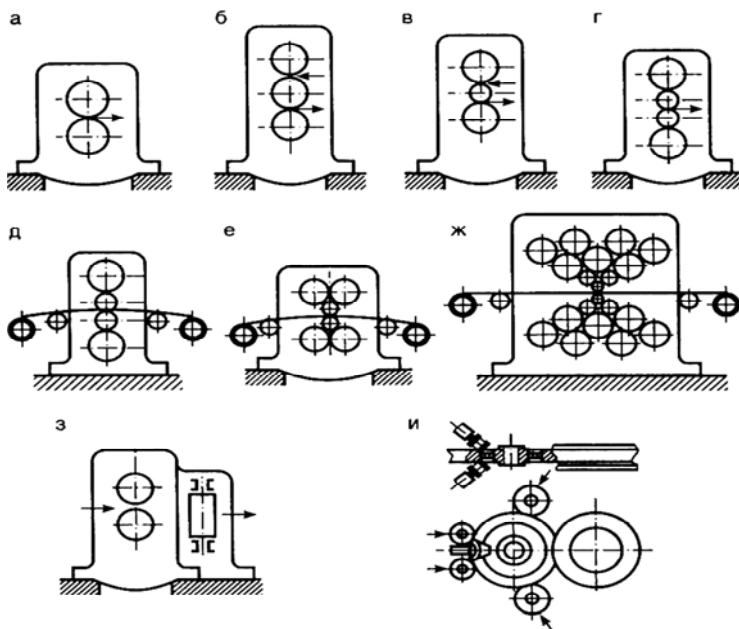


Рис. 4.11. Классификация рабочих клетей:
а – дуо; *б* – трио сортовые; *в* – трио листовые; *г* – кварто листовые;
д – кварто для прокатки рулонов; *е* – многовалковая (шестивалковая);
ж – многовалковая (двадцативалковая); *з* – универсальная;
и – специальная (колеснопрокатная)

Различают **клетки трио сортавые**, все валки которых приводные, имеющие одинаковый диаметр, и **листовые**, у которых средний валок меньшего диаметра и является холостым: при прокатке он прижимается то к верхнему, то к нижнему валку, за счет чего и получает вращение.

Клетки кварто (четыревалковые) имеют четыре валка, расположенные друг над другом, из них два рабочих валка меньшего диаметра и два опорных – большего диаметра.

Различают клетки кварто **листовые**, применяемые для прокатки толстых листов, полос и броневых плит, и клетки кварто **для прокатки рулонов**. Последние применяются в станах холодной и горячей прокатки тонких листов, лент, полос, причем перед клетью может устанавливаться разматыватель рулонов, а сзади – моталка, создающая натяжение полосы.

Многовалковые клетки имеют пять и более валков. На рис. 4.11, е, ж изображены схемы шести- и двадцативалковой клетей. Благодаря жесткости и относительно малому прогибу опорных валков на этих клетях производится холодная прокатка тонких полос и узких лент с малым допуском по толщине [5].

Непрерывные станы имеют очень большую производительность. Они применяются как заготовочные, широкополосные, мелкосортные, проволочные, трубосварочные станы и станы холодной рулонной прокатки листов и жести.

В зависимости от назначения прокатные станы можно подразделять на следующие группы:

– **станы горячей прокатки** – обжимные, заготовочные, рельсобалочные, крупносортные, среднесортные, мелкосортные, проволочные, толстолистовые, среднелистовые, тонколистовые, непрерывные листовые (широкополосные) и штрипсовые (выпускающие штрипс-заготовку для труб в виде полосы шириной до 300 мм);

– **станы холодной прокатки** – листовые, жестепрокатные и станы прокатки тонкой и тончайшей полосы;

– **станы специального назначения** – колесопрокатные, шаропрокатные, бандажепрокатные, для проката полос и профилей переменного сечения и др.

Основным параметром обжимных и сортовых станов продольной прокатки обычно является диаметр валков; листовых станов – длина бочек валка, которая определяет максимальную ширину прокатываемых листов и полос; трубных и специальных станов – максимальный размер прокатываемого на стане изделия.

Непрерывные станы имеют очень большую производительность. Они применяются как заготовочные, широкополосные, мелкосортные, проволочные, трубосварочные станы и станы холодной рулонной прокатки листов и жести.

Инструментом для прокатки служат *валки*, которые состоят из бочки, являющейся рабочей частью, шеек и треф.

Трефа – приводной конец валка, входящий во втулку шпинделя для передачи вращательного движения валкам.

Листовую сталь и ленту прокатывают в гладких цилиндрических, полосовую – в ступенчатых и сортовую сталь – в ручьевых валках.

Углубления-ручьи в паре валков образуют калибр. Пара валков обычно имеет несколько калибров. Калибры бывают открытыми и закрытыми.

Валки для прокатки изготавливают из заготовок, полученных литьем из отбеленного чугуна или выкованных из углеродистой и легированной стали с последующей механической обработкой.

После соответствующей термообработки поверхность валка может иметь твердость от 200 до 800 НВ.

4.6. Ковка

Ковка – один из способов обработки металлов давлением, при котором инструмент оказывает многократное воздействие на нагретую заготовку, в результате чего она, деформируясь, постепенно приобретает заданные форму и размеры [5, 6].

Процесс ковки состоит из чередования в определенной последовательности основных и вспомогательных операций. Каждая операция определяется характером деформирования и применяемым инструментом.

Мелкие поковки массой менее 50 кг и средние массой 50–400 кг в единичном и мелкосерийном производствах выполняют ковкой, поскольку их изготовление штамповкой экономически нецелесообразно из-за высокой стоимости и длительности изготовления штампов. Для изготовления поковок используют слитки, блюмы и сортовой прокат.

Различают ковку *ручную*, применяемую иногда при мелких ремонтных работах и выполняемую с помощью наковальни и кувалды, и *машинную*, осуществляемую с помощью молотов и прессов [6].

Также различают ковку *свободную* и в *штампах* (*штамповка*). При свободной ковке (см. рис. 4.12) заготовка не ограничивается стенками специальных форм (штампов), и формообразование происходит свободно в пространстве между бойками молота *1* путем пластической деформации металла заготовки *2*.

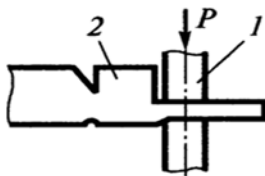


Рис. 4.12. Схема обработки металлов давлением способом свободной ковки

Этот процесс и качество поковки во многом зависят от искусства оператора-кузнеца.

4.6.1. Операции машиннойковки

К основным операциям машиннойковки относятся осадка, протяжка, прошивка, гибка, сварка, скручивание, отрубка и раскатка (рис. 4.13–4.16).

Осадка – уменьшение высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения.

Осадку производят бойками или осадочными плитами. Заготовки, у которых отношение высоты к диаметру более 2,5, осаживать не рекомендуется во избежание возможного продольного искривления.

Осадка части заготовки называется **высадкой**.

Течение металла при деформировании сопровождается скольжением его частиц по поверхности инструмента. В результате между инструментом и заготовкой возникают напряжения контактного трения, направление которых противоположно течению металла. Наличие трения вызывает увеличение усилия деформирования, повышает износ инструмента, является причиной неоднородной деформации (рис. 4.13, а).

Протяжка – удлинение заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения. Она осуществляется последовательными обжатиями отдельных, примыкающих друг к другу участков заготовки при ее подаче вдоль оси. Сумма определенного числа обжатий, осуществляемых последовательно до определенной толщины заготовки, называется проходом (рис. 4.13, б).

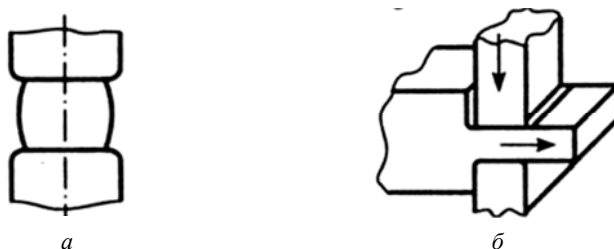


Рис. 4.13. Схема основных операций машиннойковки:
а – осадка; б – протяжка

Два последовательных обжатия с промежуточной кантовкой (поворотом) между ними на 90° называется переходом.

Прошивка – получение полостей в заготовке за счет вытеснения материала. Инструмент для прошивки называется прошивень. Она может являться как самостоятельной операцией для образования отверстия, так и подготовительной операцией для последующей раскатки или протяжки заготовки на оправке (рис. 4.14) [5, 6].

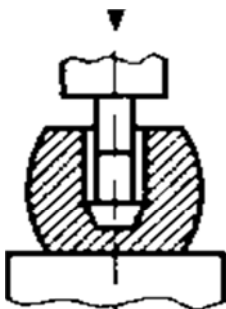


Рис. 4.14. Схема машиннойковки прошивкой

Отверстия диаметром до 500 мм пробивают сплошным прошивнем с применением подкладного кольца, а отверстия большего диаметра – полым прошивнем, применяя надставки в случае высокой заготовки.

Часть металла, удаляемую в отход, называют выдрой.

Сварка – создание неразъемного соединения путем совместного пластического деформирования предварительно нагретых заготовок (рис. 4.15, а).

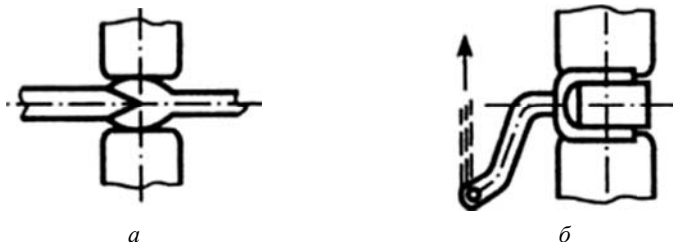


Рис. 4.15. Схема основных операций машиннойковки:
а – сварка; б – скручивание

Скручивание – поворот части заготовки вокруг продольной оси. Осуществляют ее с помощью крана, например, при развороте колен коленчатых валов (рис. 4.15, б) [5, 6].

Отрубка – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента. Отрубку топорами осуществляют для удаления прибыльной и донной частей слитка, лишних концов поковки или для разделения длинной поковки на более короткие части (рис. 4.16, а).

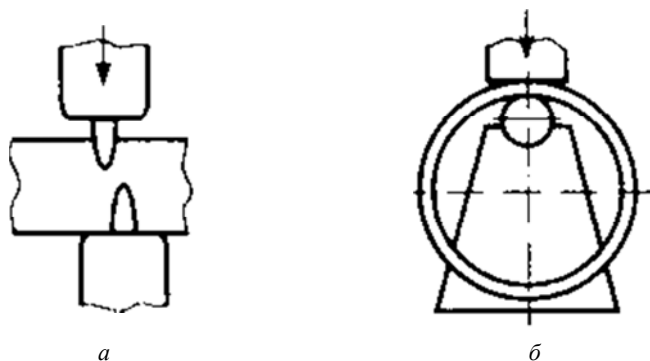


Рис. 4.16. Схема основных операций машиннойковки:
а – отрубка; б – раскатка

Раскатка – увеличение диаметра кольцевой заготовки за счет уменьшения ее толщины с помощью бойка и оправки. При раскатке ширина кольца несколько увеличивается. Инструментами для раскатки служат плоский боек, оправка и люнет (рис. 4.16, б) [5, 7].

4.6.2. Оборудование дляковки

Ковку выполняют на ковочных молотах и ковочных гидравлических прессах.

Одним из основных типов молотов дляковки являются паровоздушные молоты. Такие молоты приводятся в действие паром или сжатым воздухом давлением 0,7–0,9 МПа. В зависимости от конструкции станины паровоздушные ковочные молоты бывают арочные (рис. 4.17), мостовые и одностоечные [6, 8].

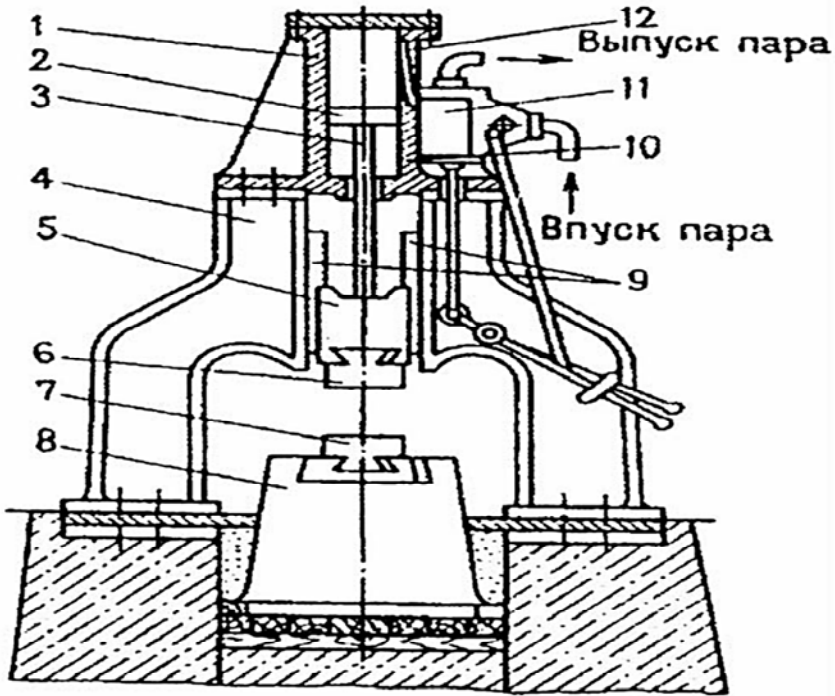


Рис. 4.17. Схема паровоздушного молота арочного типа

На станине 4 арочного молота (рис. 4.17) смонтирован рабочий цилиндр 1 с парораспределительным устройством 2. При нажатии педали или рукоятки управления сжатый пар или воздух по каналу 12 поступает в верхнюю полость цилиндра 1 и давит на поршень 2, соединенный штоком 3 с бабой 5, к которой прикреплен верхний боек 6. В результате падающие части 2, 3, 5 и 6 перемещаются вниз и наносят удары по заготовке, уложенной на нижний боек 7, неподвижно закрепленный на массивном шаботе 8. При подаче сжатого пара по каналу 10 в нижнюю полость цилиндра 11 падающие части поднимаются в верхнее положение. Перемещение бабы 5 происходит в направляющих 9. В ковочных молотах станина 4 и шабот 8 закреплены на фундаменте по отдельности, так как для того, чтобы манипулировать заготовками и кузнечным инструментом, необходимо иметь доступ к бойкам со всех сторон.

Молоты могут совершать удары с разной энергией, зажимать поковки между бойками и удерживать бабу на весу. Ковочные паровоздушные молоты строят с массой падающих частей 1000–8000 кг. На этих молотах изготовляют поковки средней массы (20–350 кг), преимущественно из прокатанных заготовок [8].

4.7. Штамповка

Штамповка – это способ изготовления изделий давлением с помощью специального инструмента (штампов), рабочая полость которых определяет конфигурацию конечной штамповки (изделия). Штамповки по своим размерам, точности, допускам и припускам значительно лучше аналогичных деталей, изготавливаемых свободной ковкой. Штампованные заготовки значительно приближены по форме и размерам к готовой детали [5].

Штамповка делится на объемную (рис. 4.18) и листовую (рис. 4.19). Она осуществляется с помощью инструментов, называемых штампами. При объемной штамповке заготовка приобретает необходимую форму в результате воздействия на нее штампа, состоящего из двух половин.

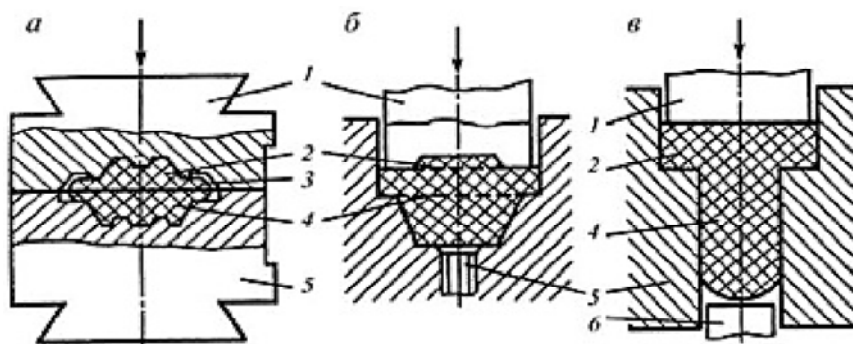


Рис. 4.18. Типы штампов при объемной штамповке;

a – открытый; *б* – закрытый; *а* – штамп для выдавливания;

1 – верхний (подвижный) штамп, по схеме в и б – пуансон; *2* – стенка ручья;

3 – облой (заусенец); *4* – штамповка; *5* – нижний (неподвижный) штамп;

б – выталкиватель

Прокатное производство обеспечивает выход годного (коэффициент использования слитка после удаления прибыльной и донной частей) на уровне 91–96 % при производстве сортового проката (прутки, рельсы, уголки и пр.), 62,5–80,6 % при производстве листа, 84,7–95,2 % при производстве труб. При изготовлении деталей машин из сортового проката коэффициент использования металла (КИМ) невысок из-за значительных расходов при резке, а также из-за отличия конструкции готовой детали от формы прутка. Более экономно может быть использован листовой прокат, при изготовлении из него деталей потери металла имеют место в основном на разделительных операциях.

При прямом прессовании выход годного составляет 80–82 %, при обратном – 86–88 %. Применение прессованных стальных заготовок позволяет в 1,5–2 раза, по сравнению с прокатом, увеличить КИМ из-за максимального приближения геометрических размеров профилей к готовым деталям.

Свободная ковка на молотах заготовок из проката обеспечивает выход годного от 67 до 83 %.

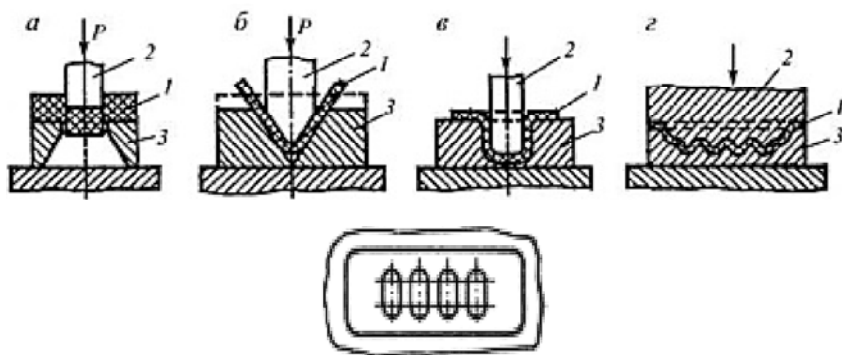


Рис. 4.19. Схемы основных операций листовой штамповки:
a – вырубка; *б* – гибка; *в* – вытяжка; *г* – формовка;
 1 – заготовка и изделие; 2 – пуансон; 3 – штамп (матрица)

Горячая объемная штамповка при использовании проката в качестве заготовок обеспечивает выход годного: около 77 % при штамповке на молотах, около 82 % – на прессах и около 90 % – на горизонтально-ковочных машинах.

Методами объемной штамповки изготавливают заготовки сложной конфигурации (шестерни, коленчатые валы, кронштейны, рычаги и другие детали для машиностроения). Для листовой штамповки характерно получение различных корпусных изделий (детали обшивки и корпуса легковых и грузовых автомобилей, гнутые корпусные судостроительные детали, коробчатые изделия сложной конфигурации и др.) [5].

4.7.1. Горячая объемная штамповка

Сущность процесса горячей объемной штамповки заключается в том, что нагретую до оптимальной температуры заготовку помещают в полость одной из половин штампа, где она при воздействии второй половины приобретает заданную форму. Штамповка в открытых штампах сопровождается образованием облоя (заусенца), поэтому при расчете объем заготовки нужно увеличить относительно объема готовой штамповки на величину облоя. Облой облегчает заполнение штампа металлом и позволяет использовать при штамповке одинаковых деталей заготовки, несколько различающиеся по объему. Для получения облоя в верхнем ручье вытачивается специальная канавка [5, 7].

В открытых штампах делают специальные штамповочные уклоны в ручьях для облегчения извлечения готовой штамповки.

Штамповка в закрытых штампах осуществляется без облоев. В этом случае штамп и при наличии уклонов не обеспечивает свободного извлечения штамповки. Поэтому применяется специальное выталкивающее устройство. К безоблойным штампам относятся также прошивные штампы и штампы для выдавливания по типу прессования.

Технологическая схема процесса состоит из следующих операций: разрезки прутков, нагрева заготовки, переноса в полость штампа, штамповки, обрезки заусенца (облоя), термической обработки, осмотра, ремонта дефектов, приемки.

Горячая штамповка характеризуется высокой производительностью и низкой себестоимостью в массовом производстве. К недостаткам относится наличие окалины, а также высокая стоимость штампов.

Механические свойства штамповок превосходят аналогичные показатели кованных деталей, так как в штамповке легче создать

усилия, обеспечивающие равномерность структуры и направленность волокон. Вырез на одном штамповом кубике называют ручьем, два кубика в совмещении образуют плоскость штампа. Штампы бывают одно- и многоручьевыми для изготовления штамповки в несколько переходов.

В многоручьевых штампах изготавливают поковки сложной формы (рис. 4.20). В заготовительных ручьях получают фасонную заготовку – полуфабрикат для штамповки в предварительном (черновом), а затем в окончательном (чистовом) штамповочном ручье [5].

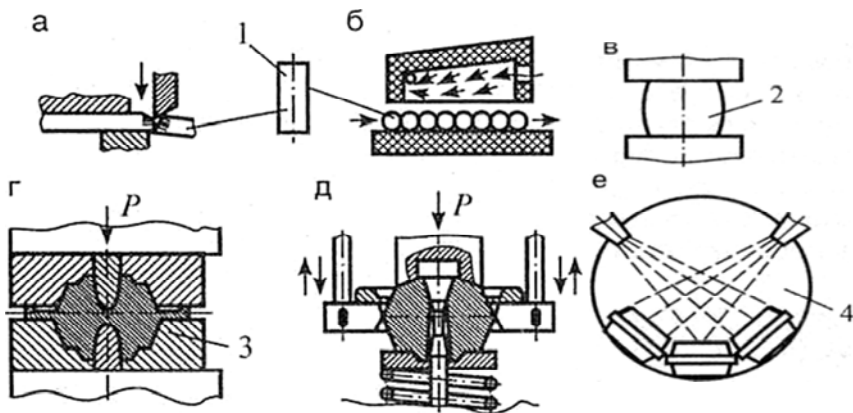


Рис. 4.20. Схема технологического процесса горячей объемной штамповки:
а – резка заготовки на пресс-ножницах; *б* – нагрев заготовки;
в – осадка заготовок; *г* – штамповка; *д* – обрезка облоя и прошивка отверстия;
е – очистка от окалины

Технологический процесс изготовления поковок горячей объемной штамповкой (рис. 4.20) в общем случае состоит из следующих основных операций:

- 1) резки проката на мерные заготовки *1* на пресс-ножницах;
- 2) нагрева заготовок в электрических или пламенных печах;
- 3) осадки заготовки *2*, штамповки в штампе *3*;
- 4) обрезки облоя (заусенца) и прошивки отверстия;
- 5) термообработки и очистки поверхности от окалины в дробе-метном барабане *4*.

В зависимости от типа штампов различают следующие способы горячей объемной штамповки: 1) в открытых штампах; 2) в закры-

тых штампах; 3) штамповка выдавливанием; 4) штамповка прошивкой; 5) штамповка в разъемных матрицах.

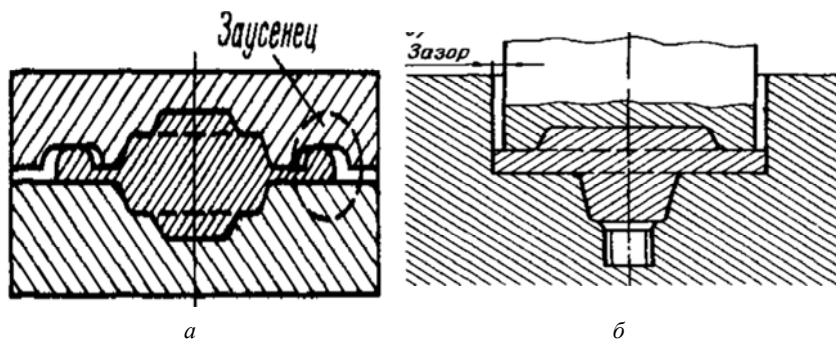


Рис. 4.21. Виды объемной штамповки:
а – в открытых штампах (облойная); б – в закрытых штампах (безоблойная)

4.7.2. Штамповка в открытых штампах

Штамповка в открытых штампах отличается тем, что полость штампа в процессе деформирования заготовки остается открытой (рис. 4.21) и штамповка сопровождается образованием облоя вокруг поковки [5, 6, 8].

Процесс штамповки можно разделить на следующие стадии (рис. 4.22):

- 1) начальная – заготовка 2 подвергается осадке между верхней и нижней частями штампа;
- 2) вторая – металл одновременно течет в полость штампа и в заусенечную канавку;
- 3) третья – облой блокирует по периметру полость штампа, и металл заполняет все полости штампа;
- 4) четвертая – доштамповка, т. е. вытеснение металла из полости штампа в облой.

Преимущество заключается в том, что при штамповке в открытом штампе облой выполняет двойную технологическую функцию: во-первых, на определенном этапе он блокирует течение металла из полости штампа, заставляя металл заполнять ее; во-вторых, компенсирует погрешность отрезки заготовки, что позволяет применять дешевые, высокопроизводительные способы их отрезки на пресс-ножницах.

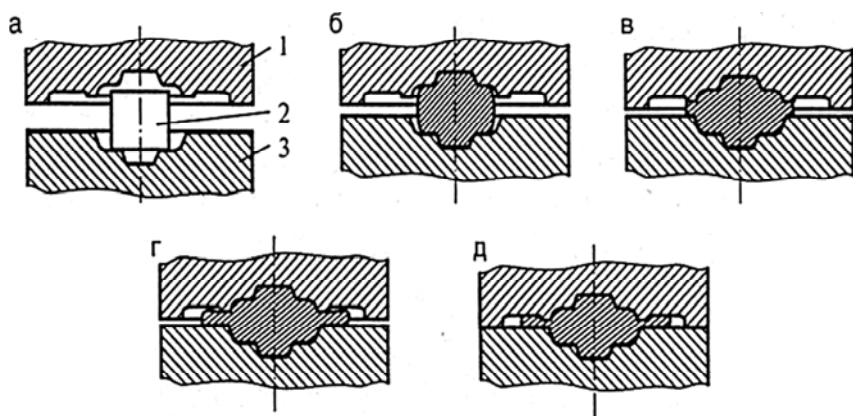


Рис. 4.22. Схема заполнения полости штампа металлом:
а – начальная стадия; *б* – стадия осадки;
в – одновременное течение металла в полость штампа и облой;
г – заполнение углов; *д* – доштамповка

К недостаткам относится бразование облоя, которое приводит к потерям металла до 20–25 % от объема заготовки и необходимости дополнительной операции – обрезки облоя в специальных обрезных штампах на обрезных прессах.

Несмотря на указанные недостатки, штамповка в открытых штампах в настоящее время является наиболее распространенной.

4.7.3. Штамповка в закрытых штампах

Штамповка в закрытых штампах характеризуется тем, что в процессе формообразования поковки весь объем металла заготовки заполняет полость штампа без образования облоя [5, 7].

Конструкция штампа (рис. 4.23) не предусматривает заусенечную канавку, а зазор z между верхней (пуансоном 1) и нижней (матрицей 2) частями штампа обеспечивает только их взаимное перемещение.

Для удаления поковки 3 из штампа применяется выталкиватель 4.

Преимущество: штамповка в закрытых штампах позволяет экономить металл и, кроме того, не требует специального оборудования, штампов и рабочей силы для обрезки облоя.

Недостаток: заготовки должны иметь небольшой допуск по массе.

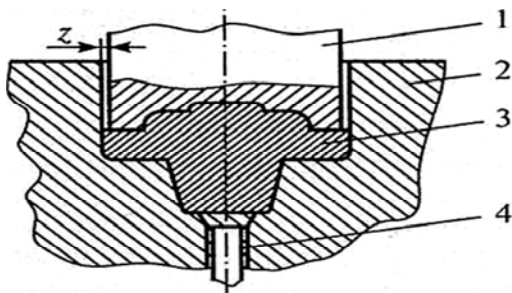


Рис. 4.23. Схема объемной штамповки в закрытом штампе

4.8. Листовая штамповка

4.8.1. Общие сведения

Для деталей, получаемых листовой штамповкой, характерно то, что толщина их стенок незначительно отличается от толщины исходной заготовки. При изготовлении листовой штамповкой пространственных деталей заготовка обычно испытывает значительные пластические деформации. Это обстоятельство вынуждает предъявлять к материалу заготовки достаточно высокие требования по пластичности.

Существует две разновидности листовой штамповки – холодная и горячая.

В качестве заготовки при листовой штамповке используют полученные прокаткой лист, полосу или ленту, свернутую в рулон. Толщина заготовки при холодной штамповке обычно не более 10 мм и лишь в сравнительно редких случаях – более 20 мм. Детали из заготовок толщиной более 20 мм штампуют с нагревом до ковочных температур (горячая листовая штамповка), что позволяет значительно уменьшить усилие деформирования по сравнению с холодной штамповкой. Холодная листовая штамповка получила более широкое применение, чем горячая.

При листовой штамповке чаще всего используют низкоуглеродистую сталь, пластичные легированные стали, медь, латунь, содержащую более 60 % Cu, алюминий и его сплавы, магниевые сплавы, титан и др. Листовой штамповкой получают плоские и пространственные детали из листовых неметаллических материалов, таких как кожа, целлулоид, органическое стекло, фетр, текстолит, гетинакс и др.

Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно в таких, как авто-, тракторо-, самолето-, ракето- и приборостроение, электротехническая промышленность и др.

К преимуществам листовой штамповки относятся возможность получения деталей минимальной массы при заданных их прочности и жесткости; достаточно высокие точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить отделочные операции обработки резанием; сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность (30–40 тыс. деталей в смену с одной машины); хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически целесообразной и в массовом, и в мелкосерийном производстве.

Рассмотрим основные разделительные и формоизменяющие операции листовой штамповки [5, 8].

Отрезка – отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах – ножницах и в штампах. Отрезку чаще применяют как заготовительную операцию для разделения листа на полосы заданной ширины. Основные типы ножниц – это ножницы с поступательным движением режущих кромок ножа (рис. 4.23, *а*) и вращательным движением режущих кромок – дисковые ножницы (рис. 4.24, *б*).

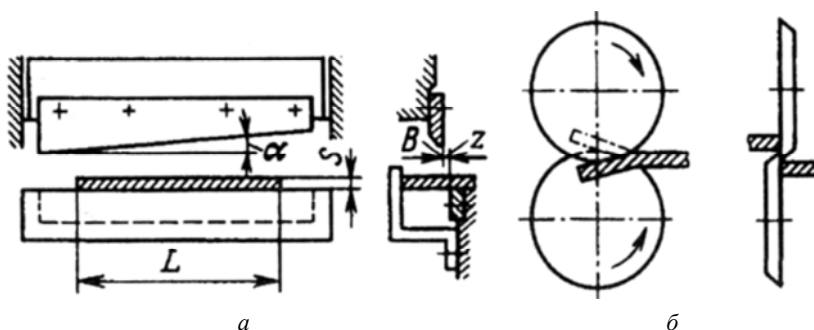


Рис. 4.24. Схемы действия гильотинных (*а*) и дисковых (*б*) ножниц

При вырубке и пробивке характер деформирования заготовки одинаков. Эти операции отличаются только назначением. Вырубкой

оформляют наружный контур детали (или заготовки для последующего деформирования), а пробивкой – внутренний контур (изготовление отверстий).

Вырубку и пробивку обычно осуществляют металлическими пуансоном и матрицей. Пуансон вдавливают часть заготовки в отверстие матрицы. В начальной стадии деформирования происходят врезание режущих кромок в заготовку и смещение одной части заготовки относительно другой без видимого разрушения (рис. 4.25, *а*) [8].

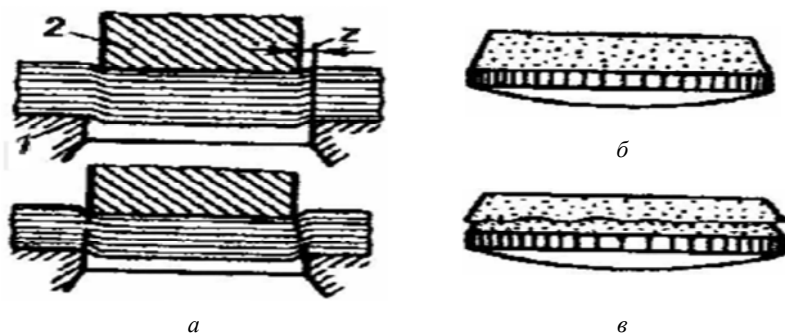


Рис. 4.25. Последовательность деформирования при вырубке (*а*) и характер среза при нормальном (*б*) и при малом (*в*) зазорах:
1 – матрица; 2 – пуансон

При определенной глубине внедрения режущих кромок в заготовку (возрастающей с увеличением пластичности металла) у режущих кромок зарождаются трещины, быстро проникающие в толщу заготовки. Эти трещины наклонены к оси инструмента под углом $4-6^\circ$; если эти трещины встречаются, то поверхность среза получается сравнительно ровной (рис. 4.25, *б*), состоящей из блестящего пояса, образующегося от внедрения режущих кромок до появления трещин, и наклонной шероховатой поверхности разрушения в зоне прохождения трещин. Возможность совпадения трещин, идущих от режущих кромок пуансона и матрицы, зависит от правильного выбора зазора между пуансоном и матрицей. Зазор z назначают в зависимости от толщины и механических свойств заготовки, он приблизительно составляет $(0,05-0,1)S$. При малом зазоре трещины не встречаются, и на поверхности среза появляются полосы вторичного среза (рис. 4.25, *в*), ухудшающие ее качество и спо-

способствующие разрушению заготовки при последующем деформировании и работе детали.

Гибка – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы. Это операция, изменяющая кривизну заготовки практически без изменения ее линейных размеров. Гибку осуществляют с помощью различных опор, приспособлений и в подкладных штампах (рис. 4.26) [5–7].

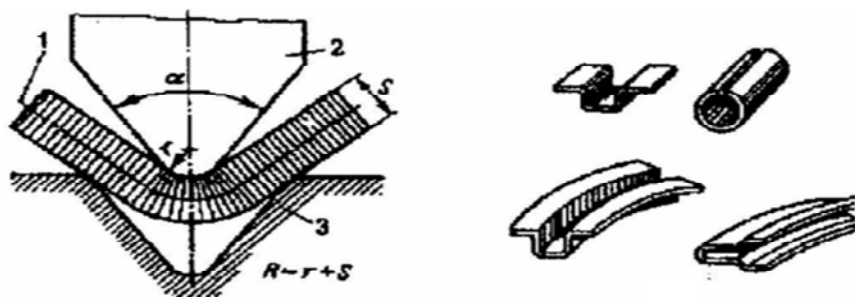


Рис. 4.26. Операция гибки

В процессе гибки пластическая деформация сосредоточивается на узком участке, контактирующем с пуансоном, в то время как участки, образующие полки детали, деформируются упруго. В зоне пластической деформации наружные слои растягиваются, а внутренние (обращенные к пуансону) сжимаются. У середины заготовки (по толщине) находятся слои, деформация которых равна нулю. Из сказанного следует, что с достаточной степенью точности размеры заготовки для детали, получаемой гибкой, можно определять по условию равенства длин заготовки и детали по средней линии.

Вытяжка без утонения стенки превращает плоскую заготовку в полое пространственное изделие при уменьшении периметра вытягиваемой заготовки (рис. 4.27).

Согласно рис. 4.27, исходную вырубленную заготовку укладывают на плоскость матрицы. Пуансон надавливает на центральную часть заготовки и смещает ее в отверстие матрицы. Центральная часть заготовки тянет за собой периферийную часть (фланец) заготовки, и последняя, смещаясь в матрицу, образует стенки вытянутого изделия.

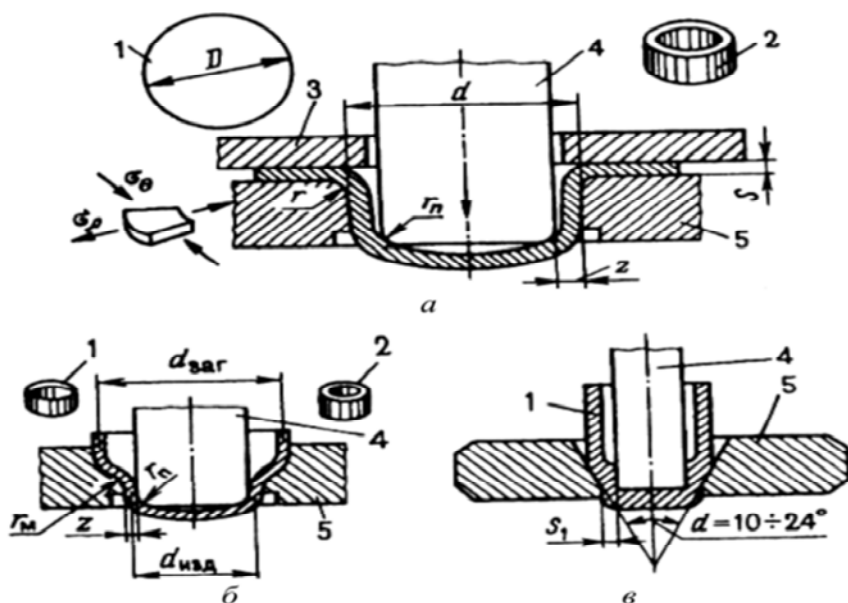


Рис. 4.27. Схема первого перехода вытяжки:
 1 – заготовка; 2 – изделие; 3 – прижим; 4 – пуансон; 5 – матрица

Вытяжка с утонением стенки увеличивает длину полой заготовки в основном за счет уменьшения толщины стенок исходной заготовки (рис. 4.27, в). При вытяжке с утонением стенки зазор между пуансоном и матрицей должен быть меньше толщины стенки, которая, сжимаясь между поверхностями пуансона и матрицы, утоняется и одновременно удлиняется. Вытяжку с утонением стенки применяют для получения деталей с толщиной доньшка, большей толщины стенок; деталей со стенкой, толщина которой уменьшается к краю (в этом случае пуансон выполняют коническим); тонкостенных деталей, получение которых вытяжкой без утонения стенки затруднительно в связи с опасностью складкообразования (рис. 4.27).

Удельные усилия на контактных поверхностях при вытяжке с утонением стенки значительно больше, чем при вытяжке без утонения стенки. Так как при вытяжке с утонением стенки заготовка скользит по матрице в направлении движения пуансона и по пуансону в обратном направлении (от торца пуансона), то и силы трения на наружной и внутренней поверхностях заготовки направлены

в противоположные стороны. Это обстоятельство увеличивает допустимую степень деформации (силы трения по матрице увеличивают растягивающие напряжения в стенках протянутой части заготовки, а по пуансону – уменьшают).

При вытяжке с утонением стенки ее толщина за один переход может быть уменьшена в 1,5–2 раза.

Размеры заготовки для получения деталей вытяжкой с утонением стенки определяют из условия равенства объемов заготовки и детали, принимая при этом, что толщина доньшка не изменяется [8].

Отбортовка – получение бортов (горловин) путем вдавливания центральной части заготовки с предварительно пробитым отверстием в матрицу (рис. 4.28). При отбортовке кольцевые элементы в очаге деформации растягиваются, причем больше всего увеличивается диаметр кольцевого элемента, граничащего с отверстием.

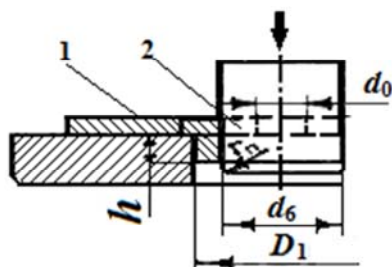


Рис. 4.28. Схема отбортовки

Допустимое без разрушения (без образования продольных трещин) увеличение диаметра отверстия при отбортовке составляет $d_6/d_0 = 1,2-1,8$ в зависимости от механических свойств материала заготовки, а также от ее относительной толщины S/d_0 . Разрушению заготовки способствует наклепанный слой у кромки отверстия, образующийся при пробивке. Большее увеличение диаметра можно получить, если заготовку отжечь перед отбортовкой или изготовить отверстие обработкой резанием (сверление с развертыванием), создающим меньшее упрочнение у края отверстия.

Обжим – операция, при которой уменьшается диаметр краевой части полой заготовки в результате заталкивания ее в сужающуюся полость матрицы (рис. 4.29). Обжимаемая заготовка получает форму рабочей полости матрицы [6].

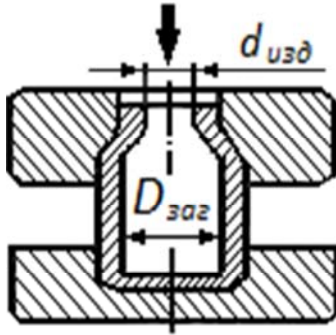


Рис. 4.29. Обжим

Допустимое уменьшение диаметра при обжиме ограничивается появлением продольных складок в обжимаемой части заготовки или поперечных кольцевых складок в ее недеформируемой части. Обычно за один переход можно получить $d_{изд} = (0,7-0,8)D_{заг}$. Если диаметр краевой части необходимо уменьшить на большую величину, заготовку обжимают за несколько переходов. Толщина заготовки в очаге пластических деформаций увеличивается, причем больше утолщается краевая часть заготовки.

Формовка – операция, при которой изменяется форма заготовки в результате растяжения отдельных ее участков. Толщина заготовки в этих участках уменьшается. Формовкой получают местные выступы на заготовке, ребра (рис. 4.30).

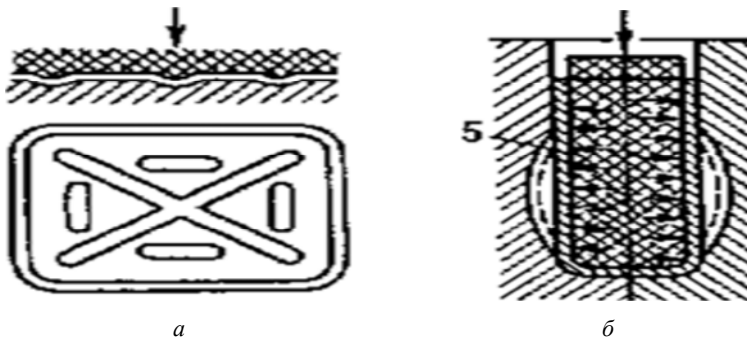


Рис. 4.30. Схема формовки ребер жесткости (а) и формовки с раздачей (б)

4.8.2. Оборудование для листовой штамповки

Кривошипные прессы

При листовой штамповке наиболее применимы кривошипные прессы, которые разделяют на прессы простого и двойного действия.

Однокривошипные открытые наклоняемые прессы простого действия (рис. 4.31) выпускаются с усилием 63–1600 кН с 45 до 250 ходов ползуна в минуту.

Кривошипные прессы называются открытыми, если имеется свободный доступ к штамповому пространству спереди и с боков станины. Но такие прессы отличаются сравнительно низкой жесткостью. Это существенный недостаток открытых прессов.

Основными составными частями кривошипного пресса являются: станина, привод, главный вал, маховик, муфта, тормоз, ползун с шатуном, командоаппарат, механизм наклона станины (у наклоняемых прессов).

Изучаемый открытый однокривошипный двухстоечный пресс простого действия модели К2322 с усилием 160 кН относится к универсальным прессам и предназначается для выполнения операций холоднолистовой штамповки: вырезки, вырубки, просечки, гибки, неглубокой вытяжки, отбортовки и др.

Кинематическая схема кривошипного пресса простого действия аналогична схеме кривошипного пресса для объемной штамповки. Пресс двойного действия для штамповки средне- и крупногабаритных деталей имеет два ползуна: внутренний (и к нему крепят пуансон) и наружный (приводит в действие прижим). Внутренний ползун, как у обычного кривошипного пресса, получает возвратно-поступательное движение от коленчатого вала через шатун. Наружный ползун получает движение от кулачков, закрепленных на коленчатом валу, или системы рычагов, связанных с коленчатым валом. Кинематическая схема пресса такова, что наружный ползун обгоняет внутренний, прижимает фланец заготовки к матрице и остается неподвижным в процессе деформирования заготовки пуансоном, перемещающимся с внутренним ползуном. После окончания штамповки оба ползуна поднимаются.

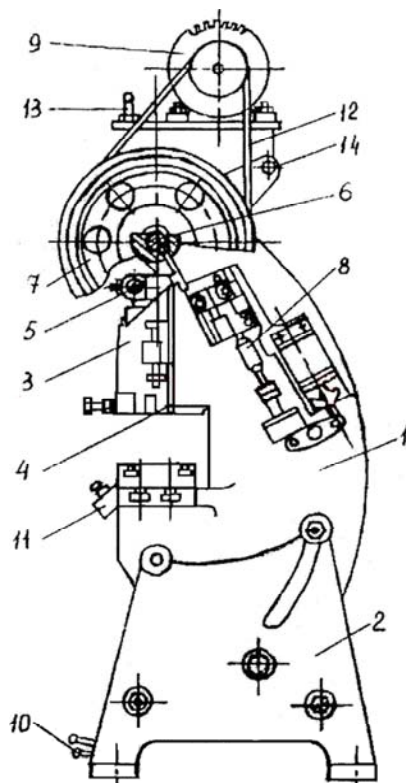


Рис. 4.31. Однокривошипный пресс простого действия:

- 1 – станина; 2 – стойки; 3 – ползун; 4 – направляющие ползуна; 5 – шатун;
 6 – коленчатый вал; 7 – маховик; 8 – автомат включения; 9 – электродвигатель;
 10 – педальное управление; 11 – двухкнопочное управление;
 12 – клиноременная передача; 13 – подмоторная плита; 14 – винт

Кроме кривошипных прессов, для листовой штамповки применяют гидравлические прессы (штамповка резиной, штамповка крупногабаритных толстостенных деталей) [8].

Гидравлические прессы

Гидравлические прессы – машины статического действия; продолжительность деформации на них может составлять от единиц до десятков секунд. Металл деформируется приложении силы, создаваемой с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального

масла), подаваемой в рабочий цилиндр пресса. В ковочные гидравлические прессы выпускают с усилием 5–100 МН для изготовления крупных поковок в основном из слитков [5, 6].

Действие гидравлического пресса основано на законе Паскаля, по которому внешнее давление на жидкость передается равномерно во все стороны замкнутой системы.

Если взять два сообщающихся цилиндрических сосуда разных диаметров, закрытых поршнями (рис. 4.32, а), и приложить к одному из них внешнее усилие, то в системе возникнет давление, зависящее от площади поршня.

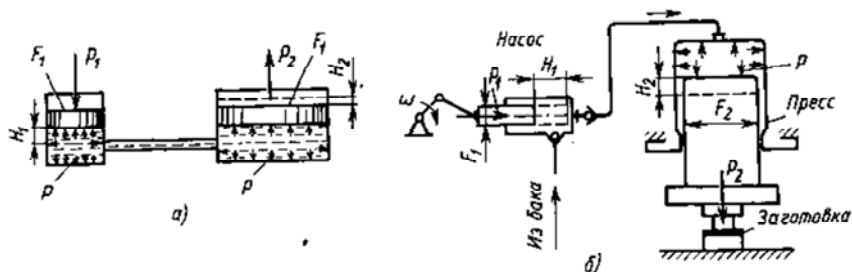


Рис. 4.32. Принцип действия гидравлического пресса:
а – принцип действия; б – схема гидропрессовой установки

Жидкость под давлением будет действовать на поршень и создаст усилие.

На этом принципе основано действие всех гидравлических прессов, в которых плунжер насоса (рис. 4.32, б) имеет значительно меньшую площадь плунжера (цилиндра) прессы. Изменяя соотношение площадей, можно практически беспрельдно увеличивать усилие прессы.

Основные характеристики гидравлических прессов – номинальное усилие, равное произведению давления жидкости в рабочем цилиндре прессы на площадь (или сумму площадей) плунжера, и величина хода плунжера.

В замкнутой гидравлической системе (рис. 4.32, а) перемещение одного плунжера вызывает перемещение другого плунжера. Так как жидкость считается несжимаемой, то объем жидкости, вытесненной малым плунжером, равен объему, который возникает в результате

перемещения плунжера. Следовательно, ход плунжера будет во столько раз меньше хода, во сколько усилие меньше площади поршня. Таким образом, в гидравлическом прессе, выигрывая в силе, во столько же раз проигрываем в пути.

Диаметр плунжера насоса во много раз меньше диаметра плунжера пресса, и, следовательно, за один ход плунжера насоса плунжер пресса переместится на долю миллиметра, что явно недостаточно для совершения работы. Поэтому в системе пресс-насос ставят специальный клапан, который позволяет жидкости двигаться только в одном направлении (к цилиндру пресса). Насос обычно имеет большое число ходов плунжера в единицу времени, и за счет этого плунжер пресса перемещается на определенную величину и деформирует заготовку.

Вся гидропрессовая установка состоит из пресса I, привода IV, органов управления III и трубопроводов II (рис. 4.33). Основные элементы гидравлического пресса следующие: станина 1, которая воспринимает усилия; рабочий цилиндр 2, в который подается жидкость под давлением; плунжер 3, воспринимающий это давление и передающий усилие через инструмент 4 на заготовку 5. Для осуществления обратного хода в гидравлических прессах предусмотрены возвратные цилиндры 6.

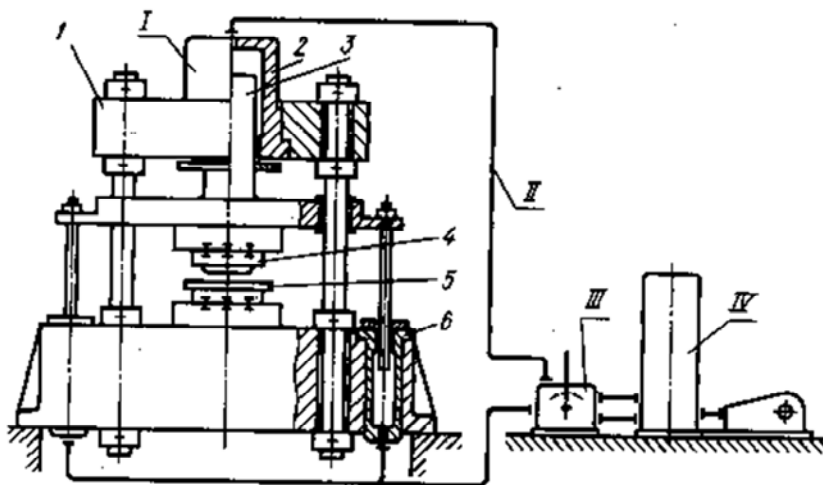


Рис. 4.33. Гидропрессовая установка с приводом

Приводом гидравлических прессов называется система, обеспечивающая повышение давления жидкости и ее аккумуляцию. Наиболее распространенный привод листоштамповочных прессов – насосный, в котором жидкость подается насосом и затем поступает в полость рабочего цилиндра пресса. Давление жидкости принимается равным 20, 32 и 45 МПа.

Коэффициент полезного действия насосного привода $\mu = 0,6-0,8$. Этот привод широко применяется по сравнению с другими видами гидравлических приводов вследствие своих небольших размеров [8].

ТЕМА 5. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ЛИТЬЯ

Технологические особенности, преимущества и недостатки различных методов литья определяют область применения каждого из них.

Общим для них является то, что все они относятся к прогрессивным материало-, энерго- и трудосберегающим технологическим процессам, позволяющим получать отливки с конфигурацией, размерами и чистотой поверхности более высокими, чем в случае применения разовых форм.

Экономичность применения этих методов растет с увеличением числа отливок в партии, т. е. с переходом от мелкосерийного производства к массовому [6].



Рис. 5.1. Способы литья

5.1. Литье в постоянные формы

К методам литья в постоянные формы можно отнести кокильное литье, литье под давлением, центробежное, непрерывное литье, литье вакуумным всасыванием, выжиманием, методом жидкой прокатки, намораживанием, электрошлаковое литье.

Особенностью данных методов литья является многократное использование форм, как правило, металлических.

5.1.1. Кокильное литье

Кокиль представляет собой металлическую литейную форму из чугуна, стали или, реже, цветных сплавов, в полость которой расплав подается под действием силы тяжести (рис. 5.2) [6, 9].

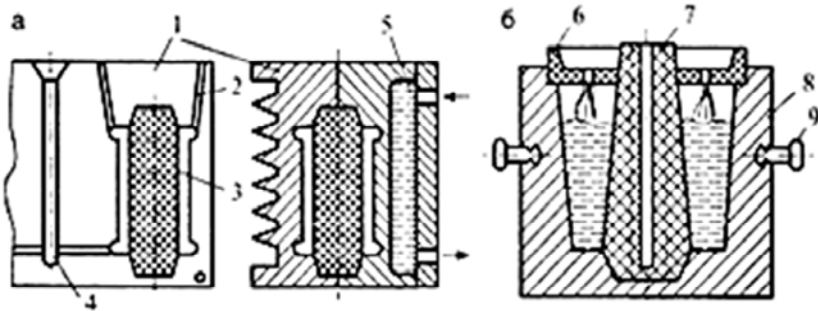


Рис. 5.2. Конструкции кокилей:
а – разъемного; б – вытряхного

В отличие от разовой песчано-глинистой формы металлическая используется многократно.

При изготовлении полых отливок из черных сплавов используют разовые стержни, для цветных сплавов возможно применение металлических стержней, которые извлекают из отливки после образования прочной корки твердого металла на ее поверхности.

Производство отливок в кокилях имеет свои технологические особенности.

Первой из них является окраска рабочей поверхности и литниковых каналов формы специальными красками, которые снижают перепад температур по сечению формы, предохраняют ее от термиче-

ских ударов, размывающего действия струи заливаемого расплава и, следовательно, увеличивают срок ее службы.

Вторая особенность технологического процесса заключается в том, что для создания идентичных условий затвердевания отливок в течение всей смены кокиль перед употреблением подогревают до определенной температуры. При заливке чугуна это уменьшает опасность появления «отбела» (структуры ледебурита) в поверхностных слоях отливки.

Третья особенность – неподатливость и негазопроницаемость формы, что требует увеличить уклоны на поверхностях отливки, перпендикулярных плоскости разъема формы, применять раннюю выбивку отливок и устанавливать винты или изготавливать каналы по разъему формы для удаления воздуха из карманов.

Интенсивный теплообмен между затвердевающей отливкой и формой (**четвертая особенность**) обеспечивает плотную мелкозернистую структуру в отливках, что во всех случаях желательно для цветных сплавов, но не всегда полезно для черных.

Быстрое затвердевание стальных отливок затрудняет удаление газов, скапливающихся перед фронтом кристаллизации, что приводит к их захвату твердой коркой и образованию в ней поверхностной газовой пористости. Быстрое затвердевание чугунных отливок обуславливает «отбел» и аномальные формы графита в поверхностном слое.

Трудоемкость изготовления отливок в кокилях меньше, чем при литье в разовые формы, качество поверхности и точность размеров выше, припуски на обработку меньше, а условия труда лучше.

Масса отливок не лимитирована (от 0,5 кг до 15 т).

В кокилях можно получить такие массивные отливки, как прокатные валки, шаботы молотов, станины прокатных станов, изложницы и т. д.

Стойкость кокилей зависит от материала самого кокиля, типа заливаемого металла, массы получаемых отливок, толщины покрытия на рабочей поверхности и колеблется от нескольких наливов (при заливке стальных слитков в изложницу) до десятков тысяч (при производстве мелких алюминиевых отливок в стальной кокиль).

Разновидностью кокильного литья является *литье в облицованный кокиль*, или *двухслойную форму* (рис. 5.3).

При этом сам кокиль изготавливают из стали или чугуна отливкой в разовую форму. Его рабочая полость, с небольшой степенью

точности повторяющая конфигурацию отливки, облицовывается слоем плакированной песчаной смеси, отвердевающей при нагреве.

Рабочий процесс изготовления двухслойной формы приведен на рис. 5.3.

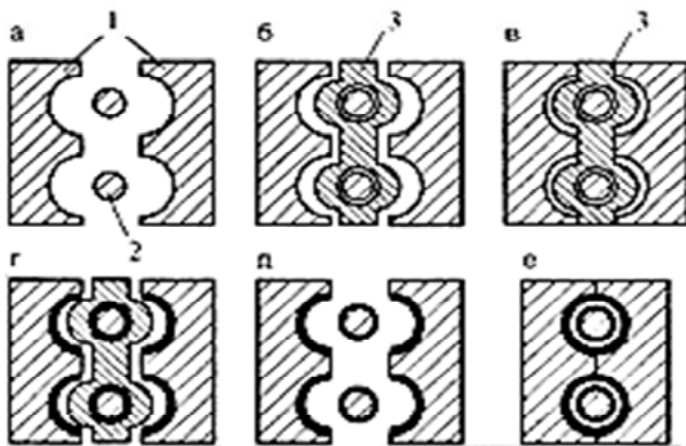


Рис. 5.3. Схема литья в облицованный кокиль
 а – раскрытая; б – ввод модели; в – сборка формы и задув смеси;
 г – раскрытая форма; д – извлечение модели; е – сборка и заливка формы

Раскрытая форма, состоящая из двух полуформ, и неподвижные центровые стержни 2 показаны на рис. 5.3 [10].

Долговечность облицованных форм выше, чем окрашенных, и, что особенно важно, при заливке в них чугуна удается избежать «отбела» в углах и тонких сечениях отливок.

Устранить «отбел» за счет самоотжига удается и при *литье в кокиль с регулируемым зазором*.

От обычного такой кокиля отличается тем, что он выполняется секционным и каждая из секций может быть отодвинута от отливки на некоторое расстояние (рис. 5.3).

Если отделение кокиля от отливки, следствием чего является резкое замедление скорости охлаждения, происходит сразу после образования корочки затвердевающего металла на поверхности отливки, то корочка разогревается теплом внутренних слоев.

Это приводит к разложению цементита, образовавшегося в поверхностных слоях чугунных отливок.

5.1.2. Литье под давлением

Процесс литья под давлением заключается в заливке расплавленного металла в камеру сжатия машины с последующей перегонкой его через литниковую систему в полость формы [10] (рис. 5.4).

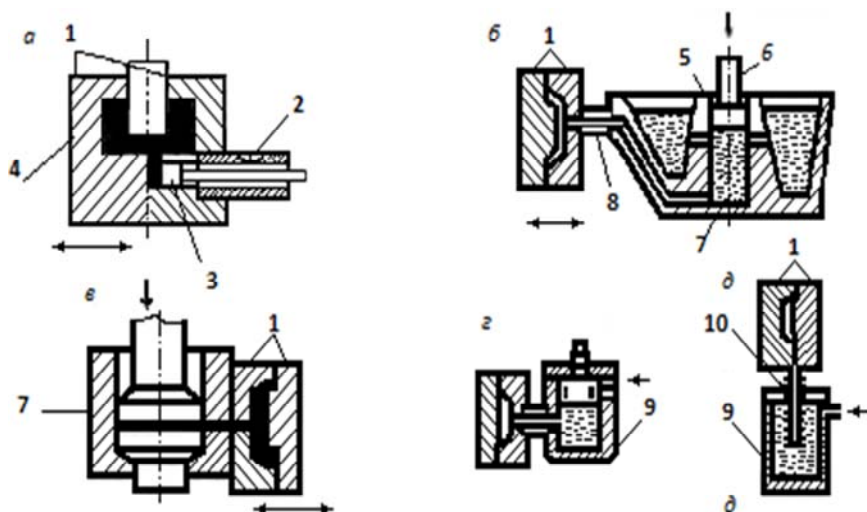


Рис. 5.4. Схемы машин для литья под давлением
а – с горизонтальной камерой прессования;
б – с горячей вертикальной камерой;
в – с холодной вертикальной камерой;
г – компрессорная; д – под низким давлением

Машины для литья под давлением имеют или горячую, или холодную камеру прессования.

Из этих схем следует, что давление на расплавленный металл при заполнении им металлической формы 1 может передаваться от поршня или за счет сжатого воздуха.

В свою очередь, поршневые машины могут иметь горизонтальную 2 или вертикальную 7 камеру прессования.

Компрессорные машины всегда имеют горячую камеру прессования и их условно можно разделить на машины собственно компрессорные и машины с регулируемым или низким давлением.

Литье под давлением используют в массовом и крупносерийном производствах отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм, с высокой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности за счет точной обработки и тщательного полирования рабочей полости пресс-формы. Детали получают точные или с минимальными погрешностями, что резко сокращает объем механической обработки отливок.

5.1.3. Центробежное литье

При центробежном литье заполнение формы жидким металлом, его затвердевание и дальнейшее остывание до температуры удаления отливки из формы происходят в условиях воздействия центробежных сил [6].

Эти силы возникают вследствие вращения формы вокруг вертикальной, горизонтальной или наклонной оси. При этом внутренняя поверхность отливки формируется без контакта с формой, и ее называют *свободной поверхностью*.

Естественно, что при этом способе литья в подавляющем числе случаев отпадает необходимость в стержнях для образования внутренних поверхностей.

При центробежном литье обычно используют металлические формы, которые предварительно подогревают до 250–350 °С, после чего на рабочую поверхность наносят огнеупорное покрытие.

Применение покрытий повышает стойкость форм, снижает скорость охлаждения отливок, что весьма важно для борьбы с отбелом в чугунных отливках, и уменьшает вероятность образования спаев и трещин.

В качестве покрытий используют краски или облицовки из сыпучих материалов. Скорость вращения формы оказывает большое влияние на процесс кристаллизации и охлаждения отливки, а также на формирование в ней специфических дефектов – спаев, трещин, ликвации. Иногда в их состав вводят горячестердеющие связующие, легирующие или модифицирующие добавки, направленно изменяющие структуру поверхностных слоев отливки.

Центробежное литье обеспечивает получение плотных отливок с дисперсной структурой и облегчает выход на свободную поверхность шлаковых и газовых включений. В процессе остывания расплава в нем зарождаются и растут кристаллы твердой фазы.

Так как плотность металла в твердом состоянии выше, чем в жидком, образовавшиеся кристаллы под действием центробежных сил перемещаются на внешнюю поверхность отливки, выжимая шлак и легкоплавкий ликват на внутреннюю поверхность.

Перемешивание расплава препятствует направленному росту кристаллов, способствуя образованию мелкой плотной структуры в отливке.

Недостаток центробежных сил заключается в отрицательном влиянии их на формирование качественной отливки. Они приводят к химической неоднородности при производстве отливок из высоколегированных сплавов.

В чугунных отливках наблюдается ликвация углерода, серы и фосфора и велика вероятность «отбела» в связи с тем, что центробежные силы препятствуют усадке отливки и образованию зазора между ней и формой, в результате чего теплоотвод от отливки ускоряется.

Для производства отливок типа коротких втулок и колец подшипников, у которых отношение длины к диаметру меньше трех, обычно применяют машины с вертикальной осью вращения (рис. 5.5, *a*).

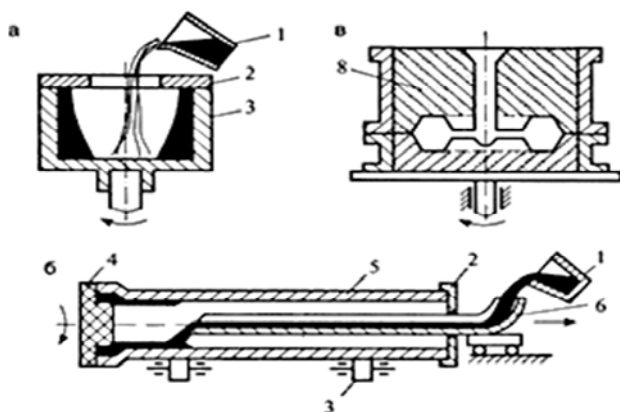


Рис. 5.5. Центробежное литье:
a – вертикальная ось вращения; *б* – горизонтальная ось вращения;
в – литье в разовые формы

Расплав из ковша *1* заливается с помощью наклонного желоба или непосредственно через отверстие в крышке *2* в изложницу *3*, вращающуюся вокруг вертикальной оси.

Так как помимо центробежных сил на жидкий металл оказывают влияние силы гравитации, внутренняя поверхность получается искривленной, а отливка разностенной [6, 9].

5.1.4. Непрерывное литье

Непрерывное литье – это способ получения протяженных отливок постоянного поперечного сечения путем непрерывной подачи расплава в форму и вытягивания из нее затвердевшей части отливки (рис. 5.6).

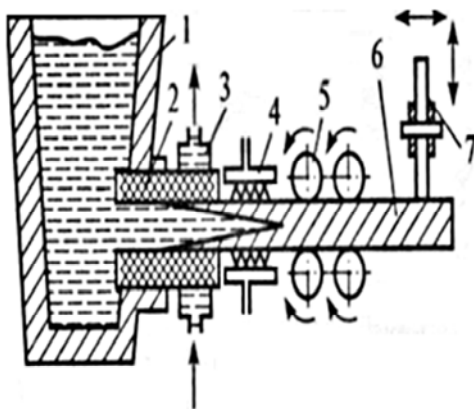


Рис. 5.6. Непрерывное горизонтальное литье

В зависимости от направления вытягивания различают вертикальное и горизонтальное непрерывное литье [6].

Вертикальное литье обычно применяется для получения слитков и труб.

При производстве труб в кристаллизатор устанавливают водоохлаждаемый стержень, который формирует внутреннюю поверхность трубы.

Кристаллизатор 2, установленный в металлоприемник 1, изготавливается из меди, графита и, реже, стали. Он имеет внутреннюю полость, профиль которой соответствует поперечному сечению отливки. На выходной части кристаллизатора устанавливается рубашка водяного охлаждения 3. Слиток 6 вытягивается из кристаллизатора тянущими роликами 5 и разделяется на мерные куски с помощью пилы 7 или ломателей. Центральная часть слитка после его

выхода из кристаллизатора остается жидкой, поэтому, чтобы ускорить затвердевание и исключить прорыв расплава через оболочку твердого металла, устанавливается душирующее устройство 4 для охлаждения водой.

Высокий градиент температур по сечению отливки в процессе ее затвердевания и подача расплава из металлоприемника в зону кристаллизации создают предпосылки для получения плотных отливок.

Непрерывным литьем получают заготовки постоянного сечения в виде круга, полосы или более сложного профиля, как, например, направляющие станин металлорежущих станков.

Недостатком этого метода литья является ограниченность номенклатуры отливок, связанная с невозможностью получения сложных по форме заготовок.

5.1.5. Электрошлаковое литье

Электрошлаковое литье – способ получения отливок в водоохлаждаемой металлической форме путем приготовления жидкого металла непосредственно в ее полости методом электрошлакового переплава расходуемого электрода.

Для начала процесса в форму-кристаллизатор заливают расплавленный шлак и в него погружают нижние концы расходуемых электродов того же состава, что и будущая отливка. Через систему форма-шлак-электрод пропускают ток напряжением 45–60 В и силой около 20 А на 1 мм диаметра электрода. В литейной форме одновременно происходит расплавление металла и его рафинирование.

Преимуществом этого способа является получение плотных, однородных по составу отливок с низким содержанием газов и неметаллических примесей.

При электрошлаковом литье получают отливки массой до 300 т, такие как прокатные валки, бандажи цементных печей, коленчатые валы судовых двигателей, детали тепловых и атомных электростанций и т. д. [10].

5.1.6. Литье в оболочковые формы

При литье в оболочковые формы, полуформы и стержни изготавливают в виде оболочек толщиной 6–10 мм. В качестве связую-

шего используются горячетвердеющие смолы с высокой удельной прочностью.

Технология литья этим способом включает:

- 1) операции приготовления лакированной песчано-смоляной смеси;
- 2) получение по модельной оснастке оболочковых полуформ;
- 3) сборку форм;
- 4) их заливку.

В качестве связующего обычно используется пульвербакелит-смесь фенолоформальдегидной смолы и 8 % уротропина, относящийся к термореактивным смолам, нагрев которых свыше 200–250 °С приводит к их полимеризации и необратимому затвердеванию.

Этим методом получают отливки массой до 300 кг, имеющие тонкие ребра (цилиндры мотоциклов) или повышенные требования по размерной точности (коленчатые валы).

При этом в 9–10 раз уменьшается расход формовочной смеси и облегчается ее регенерация термической обработкой.

К *недостаткам* метода следует отнести высокую токсичность выделяющихся при горении смолы газов и возможность поверхностного насыщения углеродом отливок из низкоуглеродистых и нержавеющей сталей [6, 9, 10].

5.1.7. Литье по выплавляемым моделям

При литье по выплавляемым моделям форма представляет собой неразъемную керамическую огнеупорную оболочку, которая формируется вокруг разовой неразъемной выплавляемой из оболочки модели.

Технология литья по выплавляемым моделям включает следующие операции:

- 1) изготовление разовой модели и модели литниково-питающей системы;
- 2) сборка моделей в единый блок;
- 3) приготовление суспензии из связующего и пылевидного наполнителя;
- 4) нанесение на блок моделей огнеупорного покрытия;
- 5) выплавка модели из оболочки;
- 6) упрочнение оболочки прокаливанием и ее засыпка песком;
- 7) заливка в оболочку металла;

8) отделение отливок от стояка и их очистка.

Модели изготавливают из модельной композиции, состоящей из парафина, стеарина и воска.

Температура размягчения композиции выше 30 °С, температура плавления – около 50 °С.

Литье по выплавляемым моделям широко применяется для производства мелких сложных отливок в приборо-, автомобиле- и тракторостроении.

Этим способом получают отливки из труднообрабатываемых сплавов (лопатки турбин, колеса насосов, постоянные магниты и др.).

Себестоимость полученного литья в 3–10 раз выше, чем отливок, полученных в песчано-глинистых формах, но высокое качество и минимальная механическая обработка обеспечивают его рентабельность в массовом и крупносерийном производстве [9].

5.1.8. Литье в керамические формы

Керамические формы могут быть отнесены к разряду полупостоянных, так как в отдельных случаях они выдерживают до 10 наливов [6, 9].

Это наблюдается в случае получения отливок простой конфигурации из алюминиевых сплавов и с невысокими требованиями по размерной точности.

Для сложных отливок из черных сплавов эти формы являются разовыми.

Технологический процесс производства отливок в керамические формы разбивается на следующие стадии:

- 1) изготовление опорного слоя по промодели;
- 2) приготовление суспензии;
- 3) заливка суспензии в зазор между моделью и опорным слоем;
- 4) затвердевание суспензии;
- 5) извлечение модели из формы и ее обжиг.

Применять керамические формы целесообразно для получения сложных точных отливок из труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Наибольшее распространение этот метод получил при изготовлении литой литейной оснастки и производстве штампов, а также в ювелирной промышленности. Масса отливок может быть различной – от десятков граммов до тонн [1].

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

ТЕМА 6. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК РЕЗАНИЕМ

Заданные формы, размеры и качество поверхностей деталей машин достигаются, в основном, обработкой резанием, которую разделяют на обдирочную, черновую получистовую и чистовую. Для получения точных размеров и минимальной шероховатости поверхности применяют тонкую обработку.

Обдирке подвергают крупные поковки и отливки 3-го класса точности, уменьшая пространственные отклонения и погрешности формы исходной заготовки. При обдирке выдерживают точность поковок 10–11-го и отливок 9–10-го классов точности по ГОСТ 2689-54.

Черновую обработку используют для заготовок, подвергавшихся обдирке, для крупных штампованных заготовок 2-го и 3-го классов точности и для крупных отливок 2-го класса точности. В первом случае достигается 7–9-й класс, а во втором 5–7-й класс точности. Шероховатость поверхности $R_a = 100\text{--}25$ мкм.

Получистовую обработку применяют, когда при черновой обработке не может быть удален весь припуск или когда к точности геометрических форм обрабатываемой заготовки и пространственной отклонением ее элементов предъявляются повышенные требования. При получистовой обработке выдерживают 4–5-й класс точности и шероховатость поверхностей $R_a = 50\text{--}12,5$ мкм.

Чистовую обработку применяют либо как окончательную, либо как промежуточную под последующую отделку. Она обеспечивает шероховатость поверхности $R_a = 12,5\text{--}2,5$ мкм. Однократной чистовой обработке подвергают заготовки, полученные методами, обеспечивающими высокую точность выполнения (штамповка по первой группе точности, литье в кокиль литье по выплавляемой модели и т. п.) на режимах, близких к режимам чистовой обработки

Тонкую обработку резцами применяют как метод окончательной отделки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей, заменяющий шлифование, и осуществляют при высоких скоростях резания, малых глубинах резания (0,05–0,5 мм) и малых подачах (0,05–0,15 мм/об) на специальных станках.

Обработка резанием осуществляется на металлорежущих станках путем внедрения инструмента в тело заготовки с последующим выделением стружки и образованием новой поверхности.

Виды резания:

– наружные цилиндрические поверхности: точение, шлифование, притирка, обкатывание, суперфиниширование;

– внутренние цилиндрические поверхности: растачивание, сверление, зенкерование, развертывание, протягивание, шлифование, притирка, хонингование, долбление;

– плоскости: строгание, фрезерование, шлифование.

Точение выполняют на станках токарного типа для цилиндрических, конических, сферических, плоских торцевых и фасонных поверхностей вращения. Плоские поверхности прямоугольного типа обрабатывают резцами на строгальных и долбежных станках. Тонкое точение и растачивание обеспечивает шероховатость $R_a = 1,0-0,32$ мкм. Тонкая обработка широкими резцами обеспечивает шероховатость $R_a = 2,5-0,63$ мкм [6].

6.1. Токарная обработка

Токарная обработка – это обработка резанием наружных и внутренних поверхностей вращения, в том числе цилиндрических и конических, торцевание, отрезание, снятие фасок, обработка галтелей, прорезание канавок, нарезание внутренних и наружных резьб на токарных станках. Точение – одна из самых древних технических операций, которая была механизирована с помощью примитивного токарного станка.

Вращательное движение заготовки называют главным движением резания, а поступательное движение режущего инструмента – движением подачи. Различают также вспомогательные движения, которые не имеют непосредственного отношения к процессу резания, но обеспечивают транспортирование и закрепление заготовки на станке, его включение и изменение частоты вращения заготовки или скорости поступательного движения инструмента и др.

Токарная обработка (точение) – одна из основных операций обработки резанием, выполняемая на металлорежущих станках и деревообрабатывающих станках токарной группы, обычно при вращательном движении изделия и поступательном движении резца [8].

Схемы обработки поверхностей заготовок на токарно-винторезном станке представлены на рис. 6.1.

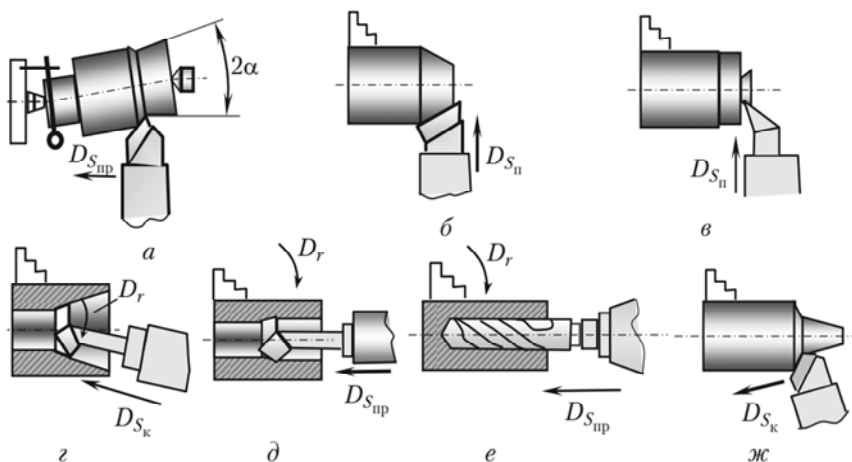


Рис. 6.1. Некоторые схемы обработки поверхностей заготовок на токарно-винторезном станке:

- a* – наружных конических поверхностей средней длины;
- б* – коротких конических поверхностей (фасок); *в* – отрезание деталей;
- г, д* – растачивание внутренней конической и цилиндрической поверхности соответственно; *е* – высверливание отверстий;
- ж* – obtачивание конических поверхностей с любым углом;
- D_r – главное движение резания; $D_{S_{п}}$, $D_{S_{np}}$ – движение подачи соответственно поперечное и продольное; $D_{S_{к}}$ – движение подачи по конусу

Длинные пологие конусы ($2\alpha = 8...10^\circ$) точат, смещая в поперечном направлении корпус задней бабки относительно ее основания (рис. 6.1, *a*) или используя специальное приспособление – конусную линейку. При обработке конических поверхностей на станках с ЧПУ продольное и поперечное движения подачи суммируются автоматически.

Сквозные отверстия растачивают проходными расточными резцами (рис. 6.1, *д*).

С поперечным движением подачи на токарно-винторезных станках obtачивают короткие конические поверхности – фаски – широкими резцами, у которых главный угол в плане равен половине угла при вершине конической поверхности (рис. 6.1, *б*).

Детали от заготовки отрезают отрезными резцами, с наклонной режущей кромкой, что обеспечивает получение торца у готовой детали без остаточного заусенца (рис. 6.1, *в*). Подрезание торцов выполняют специальными подрезными резцами.

На токарно-винторезных станках обработку отверстий выполняют сверлами, зенкерами и развертками. В этом случае обработку ведут с продольным движением подачи режущего инструмента (рис. 6.1, *е*). Обтачивание наружных и растачивание внутренних конических поверхностей средней длины с любым углом конуса при вершине проводят с наклонным движением подачи резцов при повороте верхнего суппорта (рис. 6.1, *з, ж*) [10].

6.2. Фрезерование

Фреза – это многолезвийный инструмент, представляющий собой тело вращения, по поверхности которого выполнены режущие зубы (рис. 6.2). Конструкция, геометрия и назначение режущих зубьев фрезы аналогичны режущей части токарных резцов [11].

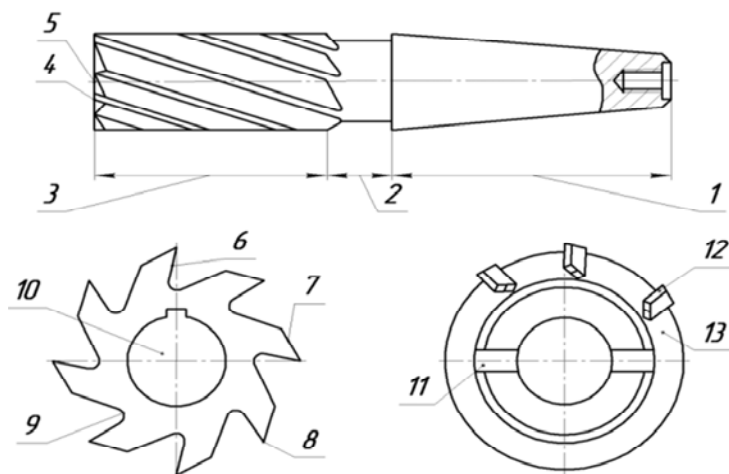


Рис. 6.2. Элементы фрез:

- 1 – хвостовик; 2 – шейка; 3 – рабочая часть; 4 – торцовый зуб;
- 5 – центровое отверстие; 6 – передняя поверхность; 7 – задняя поверхность;
- 8 – режущая кромка; 9 – канавка; 10 – отверстие фрезы;
- 11 – торцовый шпоночный паз; 12 – вставной зуб; 13 – корпус фрезы

При обработке фрезами различают черновое, получистовое, чистовое, а при обработке торцовыми фрезами и тонкое фрезерование.

Черновое фрезерование применяют для обработки отливок и поковок, припуск на предварительную обработку которых превышает 3 мм. Черновое фрезерование плоских поверхностей обеспечивает точность по прямолинейности 0,15–0,3 мм на 1 м длины и шероховатость $R_a = 50$ –12,5 мкм. Получистовое фрезерование используют для уменьшения погрешностей геометрических форм и пространственных отклонений.

При *получистовом фрезеровании* обеспечивается шероховатость $R_a = 25$ –6,3 мкм и отклонение от плоскостности 0,1–0,2 мм на 1 м длины. *Чистовое фрезерование* применяют в качестве окончательной обработки после черного фрезерования либо как метод промежуточной обработки перед последующей отделочной обработкой. Чистовое фрезерование позволяет получить шероховатость $R_a = 10$ –1,25 мкм и отклонение от плоскостности 0,04–0,08 мм на 1 м длины [6].

Тонкое фрезерование осуществляют как метод окончательной обработки плоских поверхностей торцовыми фрезами. Припуск под тонкое фрезерование берут в пределах 0,2–0,5 мм. Тонкое фрезерование обеспечивает шероховатость $R_a = 2,5$ –0,4 мкм и отклонение от плоскостности 0,02–0,04 мм на 1 м длины.

Однократное фрезерование применяют в тех случаях, когда погрешности исходной заготовки обуславливают незначительный припуск на обработку (менее 2 мм). При этой обработке обеспечивается шероховатость $R_a = 12,5$ –2,5 мкм и отклонение от плоскостности 0,06–0,1 мм на 1 м длины. Применяя скоростные режимы при фрезеровании, уменьшают высоту микронеровностей в 1,5–2,5 раза.

Торцовые фрезы используют для обработки больших открытых плоских поверхностей; набор цилиндрических, прорезных и угловых фрез, закрепленных на одной оправке – для обработки фасонных поверхностей; фасонные фрезы – для обработки сложнопрофилированных поверхностей; пальцевые и дисковые фрезы – для обработки пазов и гнезд. Цилиндрическое фрезерование против подачи характеризуется большими силами. При торцовом фрезеровании сила подачи незначительна, но велика боковая сила, сдвигающая заготовку. При многоинструментных наладках, осуществляемых на продольно-фрезерных и агрегатных станках, достигают высокой производительности труда [6].

6.3. Сверление

Сверло представляет собой режущий инструмент для обработки отверстий в сплошном материале либо для рассверливания отверстий при двух одновременно происходящих движениях: вращении сверла или заготовки вокруг оси и поступательном движении подачи вдоль оси [11].

Сверло состоит (рис. 6.3) из рабочей части l_1 , шейки l_3 , хвостовика l_4 и лапки l_5 . Сверла малого диаметра изготавливаются в основном с цилиндрическим хвостовиком, а большего – с коническим.

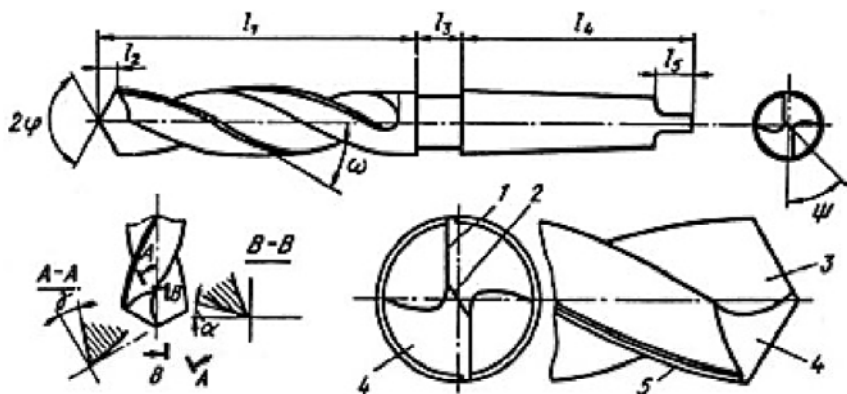


Рис. 6.3. Элементы спирального сверла

На рабочей части различают режущую l_2 и направляющую l_1 части. Направляющая часть направляет сверло по оси и позволяет осуществлять многократную его переточку. По всей длине выполнены узкие направляющие ленточки 5, служащие для направления инструмента в отверстие.

Режущими элементами сверла являются главные режущие кромки 1, поперечная режущая кромка 2, а также передние 3 и задние 4 поверхности. Передний угол γ облегчает врезание режущих кромок в обрабатываемый материал, задний угол α способствует уменьшению сил трения при резании [9].

При выборе сверла необходимо отдать предпочтение современным твердосплавным типам сверл, обладающим высокой стойкостью и производительностью по сравнению со сверлами из быстро-

режущих сталей. В табл. 6.1 приведены рекомендации по выбору инструментов для различных размеров отверстий и требования к качеству обрабатываемой поверхности.

Таблица 6.1

Области применения различных сверл

Вид сверла	Диаметр отверстия D , мм	l/D (l – глубина сверления)	Шероховатость R_a , мкм	Требуемая точность JT
Цельные твердосплавные сверла	2,0–20	3–7	1,6–3,2	8–10
С напаянными твердосплавными пластинами	10–30	2–7	1,6–3,2	8–10
Со сменными пластинами	12–85	2–5	1,6–6,3	$\pm 0,2$
Трепанирующие	60–110	2–3	1,6–6,3	$\pm 0,2$
Пушечные сверла	0,98–35	100	0,1–3,2	8–9
Эжекторные	19–65	50	1,6–2,0	9–10

Сверлением спиральными сверлами делают отверстия диаметрам до 80 мм в сплошной заготовке. Сверление обеспечивает 1–5-й класс точности и шероховатость поверхности $R_a = 25–2,5$ мкм; его применяют в качестве предварительной обработки точных отверстий. Обработка грубых отверстий для болтов и заклепок ограничивается одним сверлением. При диаметре отверстия более 30 мм сверлят отверстия малого диаметра (одна треть заданного), а затем производят его рассверливание. Положение оси отверстия обеспечивают сверление по разметке, кондуктору и на координатно-сверлильных станках. Сверление по кондуктору уменьшает смещение оси и увеличивает диаметр (разбивку) отверстия [1].

6.4. Зенкерование

Зенкеры применяются для увеличения диаметров цилиндрических отверстий с целью повышения точности и улучшения качества

поверхности, получения отверстий заданного профиля, а также обработки торцовых поверхностей.

По виду обработки зенкеры подразделяются на несколько основных групп.

Наиболее широко распространены цилиндрические зенкеры (рис. 6.4, *а*), предназначенные для увеличения диаметра цилиндрических отверстий на 1...8 мм. Они позволяют получать точность обработки отверстий по IT10...IT11 квалитетам и параметр шероховатости обработанной поверхности $R_a = 40...10$ [12].

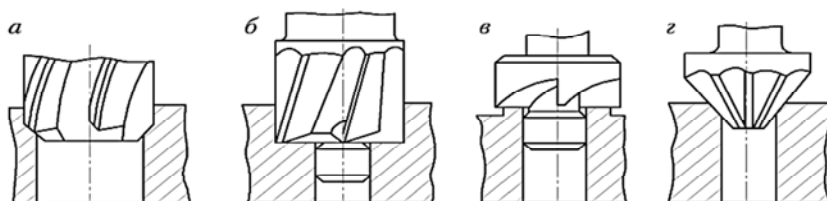


Рис. 6.4. Типы зенкеров:

а – цилиндрический; *б, в* – цилиндрические зенковки с цапфой;
з – коническая зенковка

Торцовые зенкеры-зенковки используются для обработки цилиндрических углублений под головки винтов (рис. 6.4, *б*) или для зачистки торцовых поверхностей бобышек, приливов и т. п. (рис. 6.4, *в*).

Конические зенкеры-зенковки (рис. 6.4, *з*) предназначены для обработки конических углублений подголовки винтов, гнезд под клапаны, для снятия фасок и т. п. Зенкеры малых размеров могут иметь один или два зуба. Зенкеры средних размеров имеют от шести до двенадцати зубьев. Наибольшее распространение получили конические зенкеры с углом конуса при вершине 2ϕ , равным 30, 60, 90 и 120°.

Зенкерование разделяют на черновое (обработка литых или прошитых отверстий) и чистовое (обработка просверленных или предварительно расточенных отверстий). Зенкеруют отверстия диаметром до 120 мм. Зенкерование повышает точность формы исходного отверстия, уменьшает смещение его оси. Это достигается направлением инструмента кондукторной втулкой. Зенкерование производят на сверлильных и агрегатно-расточных станках, а также на станках токарной группы. При зенкеровании литых и прошитых отверстий получают 5-й класс точности и шероховатость поверхности

$R_a = 25\text{--}12,5$ мкм, а при зенкерования отверстий после сверления (чернового зенкерования) – 4-й класс точности и шероховатость поверхности $R_a = 12,5\text{--}6,3$ мкм. Однократное скоростное зенкерование литых отверстий в заготовках из серого чугуна обеспечивает 1-й класс точности и шероховатость поверхности $R_a = 12,5\text{--}2,5$ мкм.

6.5. Развертывание

Развертыванием достигается высокая точность обработки отверстий (6–7-й квалитеты) с параметром шероховатости поверхности $R_a = 0,3\text{...}2$ мкм. При развертывании со стенок отверстия, предварительно обработанного сверлением и зенкерованием (или только сверлением), снимается слой металла в несколько десятых миллиметра. По форме обрабатываемого отверстия развертки делятся на цилиндрические и конические [9].

Развертывание (рис. 6.5) является чистой операцией, обеспечивающей высокую точность отверстия. Развертыванием обрабатывают цилиндрические и конические отверстия после зенкерования или растачивания. Тонкое развертывание отличается от обычного высокой точностью и малой шероховатостью обработанной поверхности. Однако развертывание *не исправляет положения оси обрабатываемого отверстия*, так как нормально работающая развертка направляется обрабатываемой поверхностью и снимает симметричный припуск по всему контуру отверстия. Тонкое развертывание обеспечивает точность 5–7 квалитетов, шероховатость поверхности $R_a = 1,25\text{...}0,63$ мкм. Предварительное развертывание позволяет получить точность 8–9 квалитетов, шероховатость поверхности $R_a = 2,5$ мкм; чистовое развертывание – точность 6–7 квалитетов, шероховатость $R_a = 1,25$ мкм [4].

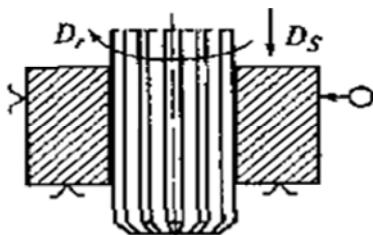


Рис. 6.5. Развертывание

Развертывание отверстий применяют как метод окончательной обработки или как метод, предшествующий хонингованию, тонкому растачиванию, притирке. Развертывание не уменьшает смещение оси отверстия; его используют для получения отверстия точного диаметра. В зависимости от предъявляемых к отверстию требований применяют предварительное, чистовое и тонкое развертывание.

В серийном и массовом производстве сверление, зенкерование и развертывание отверстий производят на многошпиндельных станках, обеспечивающих высокую производительность труда [6].

6.6. Шлифование

Существует три способа круглого наружного шлифования: с продольной подачей (рис. 6.6, *а*), глубинное (рис. 6.6, *б*), с поперечной подачей (рис. 6.6, *в*) [11].

Шлифование применяют как метод предварительной и окончательной обработки.

Обдирочное шлифование часто используют для получения базовых поверхностей у мелких и средних отливок. При обдирочном шлифовании применяют сегментные круги зернистостью 80–125, реже зернистостью 50–80; достигаемая шероховатость поверхности $R_a = 2,5–1,25$ мкм. Предварительное шлифование плоских поверхностей после обработки лезвийным инструментом производят периферией или торцом чашечного круга. В первом случае применяют круги зернистостью 10–50, во втором – зернистостью 50–80. Для чистового шлифования используют круги зернистостью 12–40 и для тонкого шлифования – зернистостью 6–10.

При плоском шлифовании периферией круга обеспечивается шероховатость поверхности: на режимах предварительной обработки $R_a = 6,3–1,25$ мкм чистовой обработки $R_a = 1,0–0,4$ мкм и тонкой обработки $R_a = 0,63–0,20$ мкм. Скоростное плоское шлифование периферией круга уменьшает высоту микронеровностей в 1,5 раза.

При обработке внешних поверхностей вращения применяют предварительное, чистовое и тонкое шлифование. Предварительное шлифование обеспечивает 3а-3-й классы точности и шероховатость поверхности $R_a = 6,3–0,63$ мкм, тонкое шлифование – 2 и 1-й классы точности и шероховатость $R_a = 0,63–0,08$ мкм. Однократное шлифование применяют для заготовок, не подвергающихся термической

обработке после точения, для достижения 3-го и 2а классов точности и шероховатости $R_a = 2,5-0,32$ мкм.

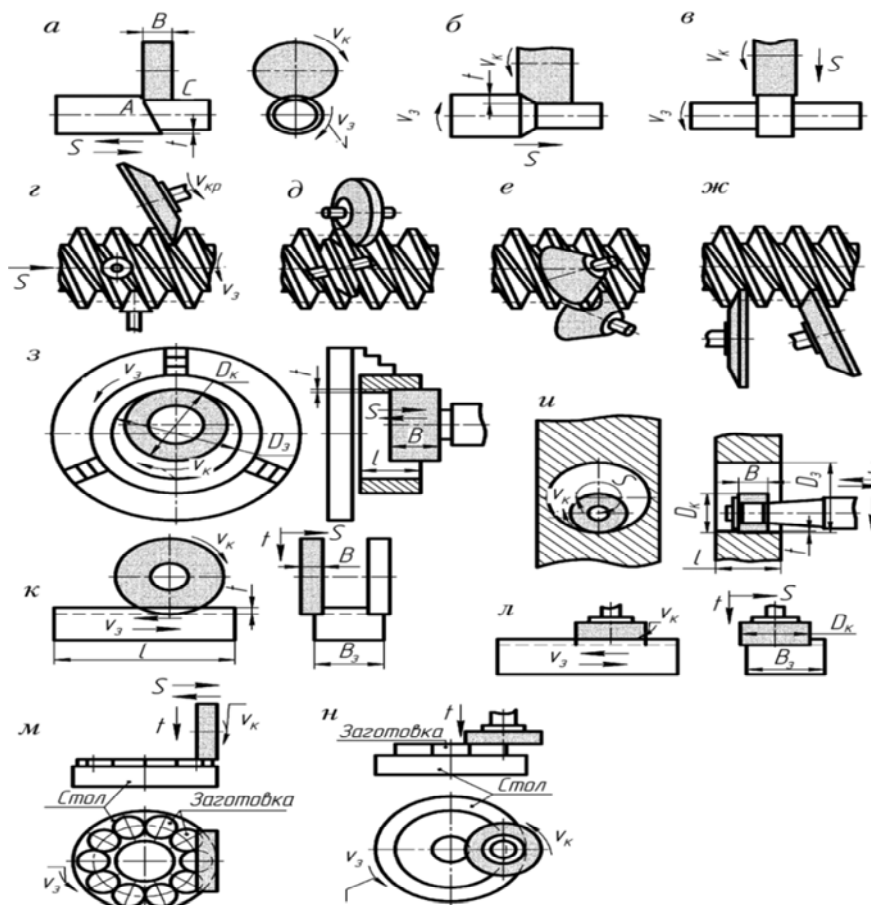


Рис. 6.6. Схемы шлифования:

- a* – продольное; *б* – глубинное; *в* – с поперечной подачей;
- з–ж* – схемы шлифования наружных винтовых поверхностей;
- з* – внутреннее простое; *и* – внутреннее планетарное;
- к, м* – плоское периферией круга; *л, н* – плоское торцом круга;
- B* – ширина круга; *B_з* – ширина заготовки; *T* – глубина резания;
- S* – подача; *V_к* – скорость круга; *V_з* – скорость заготовки;
- D_к* – диаметр круга; *D_з* – диаметр заготовки

При обработке отверстий применяют предварительное и чистовое или однократное шлифование. Предварительное шлифование обеспечивает 3-й класс точности и шероховатость $R_a = 6,3-0,63$ мкм. Чистовое и однократное шлифование обеспечивает 2–3-й классы точности и шероховатость $R_a = 1,25-0,32$ мкм.

Тонкое шлифование при обработке отверстий не применяют, и если требуется более высокая точность и малая шероховатость, то используют другие методы обработки лезвийными или абразивными инструментами (тонкое растачивание, тонкое развертывание, хонингование, притирку). Шлифованием обрабатывают различные поверхности, применяя станки соответствующего типа (плоско- и круглошлифовальные, для внутреннего шлифования, сферошлифовальные, резьбо- и зубошлифовальные).

Для тонкого шлифования применяют алмазные круги, состоящие из корпуса и алмазосносного кольца. Алмазосносный слой содержит алмаз в связку (металлическую или органическую). Алмазные круги изготавливают 25, 50 и 100 %-ной концентрации, которой определяется содержание алмаза в миллиграммах в 1 мм алмазосносного кольца. За 100 %-ную концентрацию принято содержание в 1 мм 0,879 мг алмаза (0,00439 кар.).

Выбор зернистости определяется требованиями, предъявляемыми к шероховатости обрабатываемой поверхности. При шлифовании кругами с более крупным размером зерна удельный расход круга уменьшается, а производительность увеличивается. Круги на металлических связках рекомендуются для предварительного шлифования заготовок из твердых сплавов, шлифования заготовок из стекла и керамики, а круги на органических связках – для доводки деталей из высокопрочных и хрупких материалов. Шлифование ведут с непрерывной подачей охлаждающей жидкости в количестве 1–2 л/мин. Круги из кубического нитрида бора обеспечивают высокую стойкость, производительность и малую шероховатость поверхности [6].

6.7. Хонингование

Хонинговальные головки применяются для окончательной обработки отверстий диаметром 1...1500 мм и глубиной до 25 000 мм. Точность обработанных отверстий достигает IT5...IT6, а шероховатость – $R_a 0,32...0,08$ [11].

В процессе работы хонинговальной головке сообщается вращательное и возвратно-поступательное движение, причем поверхность отверстия обрабатывают как при прямом ходе, так и при обратном. Для обеспечения высокого качества обработанной поверхности необходимо, чтобы получаемые в процессе обработки штрихи пересекались под углом $2\alpha = 40 \dots 60^\circ$. Развертка сетки следов обработки на поверхности хонингуемого отверстия приведена на рис. 6.7, а.

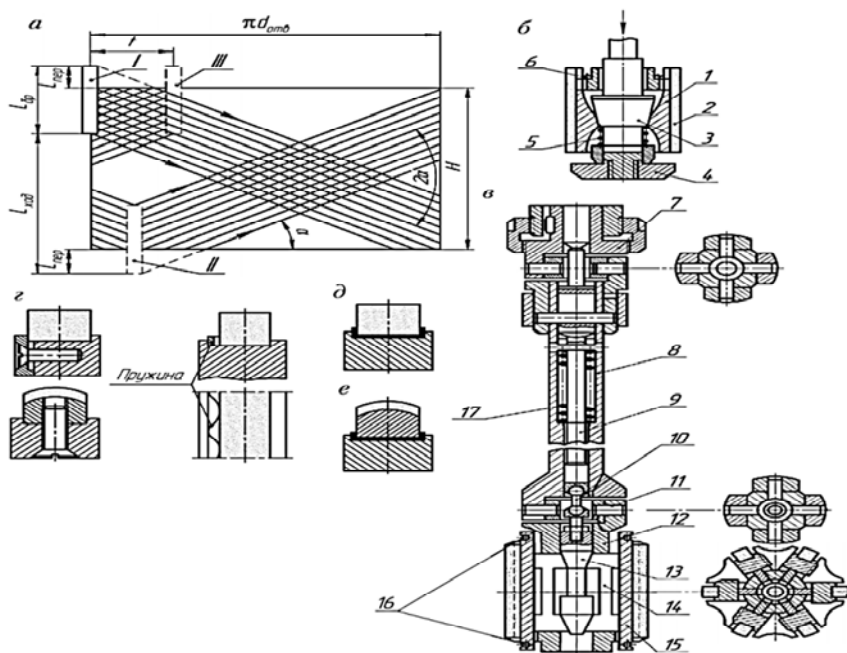


Рис. 6.7. Схема работы и конструкция хонинговальной головки:
 а – сетка следов обработки; б – механизм раздвигания брусков одним конусом;
 в – механизм раздвигания брусков двумя конусами;
 г – способы механического крепления брусков;
 д, е – соответственно приклеивание и припаивание брусков;
 1 – державка; 2 – брусок; 3 – конус; 4 – регулировочная гайка;
 5, 17 – винтовые пружины; 6, 16 – кольцевые пружины;
 7 – механизм раздвигания; 8 – стержень; 9 – толкатель;
 10, 11 – шарнирные поводки; 12 – корпус; 13 – разжимной конус;
 14 – конусные планки; 15 – колодки с брусками;
 $l_{бр}$ – длина хонинговального бруска; H – высота отверстия; $l_{пер}$ – переberg

Цифрами I, II и III обозначены последовательные положения бруска за один двойной ход головки. Для повышения качества обработанной поверхности число оборотов хонинговальной головки не должно быть кратно числу ее двойных ходов. При этом режущие зерна брусков при возвратно-поступательном движении не повторяют путь предыдущего хода, а смещаются на некоторую величину t что улучшает качество обработанной поверхности. Изменение направления движения брусков в процессе каждого двойного хода улучшает процесс самозатачивания и восстановления режущей способности брусков.

Хонингованием устраняют конусообразность и овальность отверстия без изменения положения его оси, так как головка шарнирно соединена со шпинделем станка.

Хонингование подразделяют на предварительное, чистовое и тонкое в зависимости от снимаемого припуска и зернистости абразивных брусков. Смазочно-охлаждающей жидкостью служит смесь керосина с машинным маслом. Хонингование обеспечивает точность 1–2 класса и шероховатость поверхности $R_a = 0,8–0,1$ мкм. Предшествующая хонингованию обработка – развертывание, тонкое растачивание, шлифование [4, 10].

6.8. Суперфиниширование

Суперфиниширование производят специальной головкой с мелкозернистыми абразивными брусками; его применяют для окончательной отделки наружных и внутренних поверхностей вращения. В процессе работы абразивные бруски прижимаются к обрабатываемой поверхности с небольшой силой.

В зависимости от характера прижима брусков в хоне различают кинематическое (рис. 6.8, *a*) и силовое суперфиниширование. При кинематическом суперфинишировании брусок 2 прижимается к заготовке 3 пневмоцилиндром или гидроцилиндром через пружину 1, что затрудняет исправление огранки и овальности обрабатываемой поверхности. В случае силового суперфиниширования этот прижим осуществляется через промежуточное звено 4, что способствует хорошему исправлению погрешности формы.

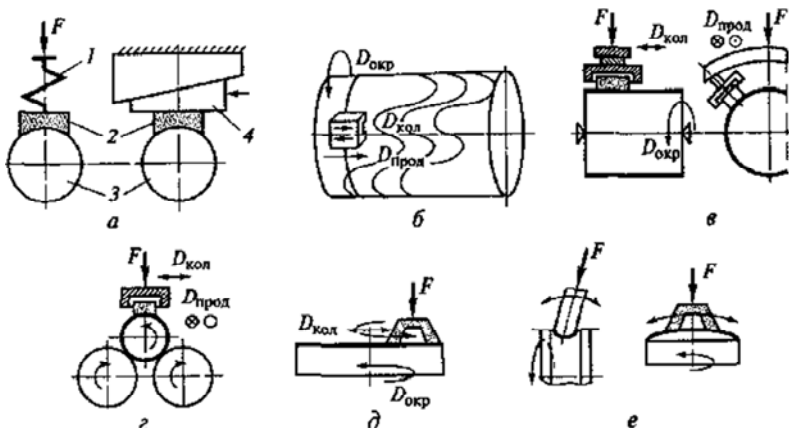


Рис. 6.8. Суперфиниширование

a – схема суперфиниширования:

1 – пружина; *2* – брусок; *3* – заготовка; *4* – промежуточный жесткий элемент;

б – основные движения; *в* – суперфиниширование в центрах;

г – бесцентровое суперфиниширование;

д, е – суперфиниширование плоских и фасонных поверхностей соответственно;

F – сила прижима; $D_{окр}$ – вращение заготовки;

$D_{кол}$ – возвратно-поступательное (колебательное) движение бруска;

$D_{прод}$ – движение продольной подачи

Основными рабочими движениями (рис. 6.8, *б*) является вращение заготовки $D_{окр}$, колебательное движение бруска $D_{кол}$ и движение продольной подачи $D_{прод}$. Иногда на брусок накладывают дополнительные ультразвуковые колебания, что позволяет увеличить скорость съема металла, и бруски самозатачиваются. Для каждой операции суперфиниширования в зависимости от заданного значения шероховатости обрабатываемой поверхности устанавливается определенная продолжительность обработки, по истечении которой станок автоматически отключается.

Наиболее распространенные схемы суперфиниширования – обработка в центрах с продольной или поперечной подачей (рис. 6.8, *в*); бесцентровое суперфиниширование (рис. 6.8, *г*); обработка плоских (рис. 6.8, *д*) и фасонных (рис. 6.8, *е*) поверхностей [4].

В результате суперфиниширования шероховатость поверхности R_a уменьшается до 0,2–0,025 мкм, но погрешности предшествующей обработки (тонкого точения, шлифования, хонингования) не устраняются.

6.9. Притирка

Притиркой достигается высокая точность формы и размеров отверстия (выше 1-го качества точности) и шероховатость поверхности $R_a = 0,025$ мкм.

Притир для обработки отверстий представляет собой втулку, имеющую с одной стороны прорезь. Этот притир устанавливают с помощью конической оправки, на которую его насаживают. На рис. 6.9 показана втулка 2, насаженная на коническую оправку 1, закрепленную в самоцентрирующем патроне. Для притирки заготовку надевают на втулку 2. Во время притирки оправка с втулкой-притиром вращается; при этом заготовке сообщают медленное прямолинейно-возвратное движение по втулке, обычно вручную. Притирку отверстий, подобно притирке наружных поверхностей, производят мелким абразивным порошком, смешанным с маслом; лучшие результаты по качеству поверхности и производительности дают пасты ГОИ и алмазные. Абразивный порошок с маслом или пасту наносят на поверхность притира перед насаживанием на него притираемой заготовки. Притирку отверстий применяют в единичном и мелкосерийном производстве [13].

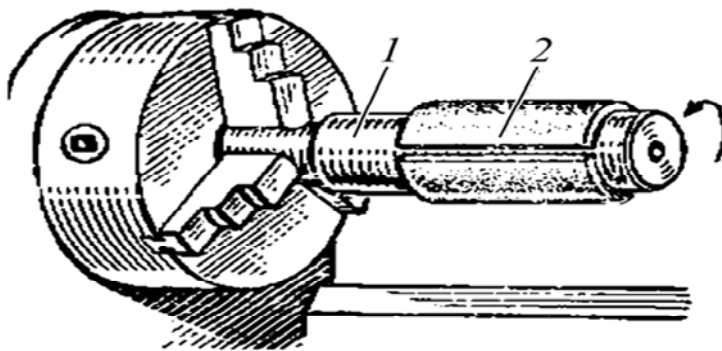


Рис. 6.9. Инструмент для притирки отверстий на токарном станке

Притир изготавливают из более мягкого материала, чем материал обрабатываемой заготовки. Его поверхность шаржируется абразивными порошками или пастами. Притирке подвергают наружные и внутренние цилиндрические, плоские и другие поверхности. Ее

выполняют на универсальных и специальных станках. Предварительной притиркой снимают припуск, необходимый для устранения погрешностей геометрической формы шлифованной поверхности; окончательной притиркой уменьшают шероховатость поверхности.

6.10. Полирование

Полирование производят мягким полировальным кругом (из войлока, фетра, бязи), с нанесенной на него полировальной пастой или струей абразивной жидкости. В результате полирования шероховатость поверхности уменьшается до $R_a = 0,032-0,012$ мкм. В отличие от притирки полирование не повышает точность обработки.

При полировании обработка производится абразивными пастами, нанесенными на быстро вращающиеся круги или ленты. В качестве абразивного материала применяют микропорошки из электрокорунда, карбида кремния, оксидов железа и хрома. Порошки одного или нескольких названных веществ смешивают со смазкой, состоящей из смеси воска, парафина и стеарина [6].

При полировании кругом заготовка прижимается силой P к кругу и совершает возвратно-вращательные движения $S_{кр}$ (рис. 6.10, а). Эластичная лента может огибать большую часть или всю поверхность заготовки (рис. 6.10, б). При обработке фасонных внутренних поверхностей лента 1 с помощью полировальника (прижима) 2 прижимается к полируемой поверхности заготовки 3 (рис. 6.10, в) [9].

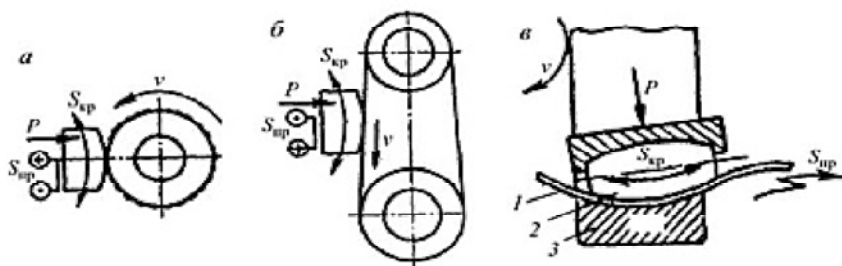


Рис. 6.10. Основные схемы полирования

Шлифование абразивными лентами применяют для металлических и неметаллических деталей. Этот метод используют для от-

делки криволинейных поверхностей фасонных деталей типа турбинных лопаток и шеек коленчатых валов. Рабочая поверхность ленты значительно превышает рабочую поверхность круга; при этом происходит рассеяние тепла, возникающего в процессе шлифования. Метод применяют после чистовой обработки. Он обеспечивает повышение точности и уменьшение шероховатости поверхности. Удельный съём металла составляет 1,2–1,6 г на 1 мм ширины ленты в 1 мин. На производительность процесса влияет сила, с которой прижимается лента, и ее скорость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антимонов, А. М. Основы технологии машиностроения : учебник / А. М. Антимонов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 176 с.
2. Маталин, А. А. Технология машиностроения : учеб. для вузов / А. А. Маталин. – 3-е изд., стереот. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. – 512 с.
3. Технология машиностроения : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. бакалавров и магистров «Технология, оборудование и автоматизация машиностроит. пр-в» и по направлению подгот. дипломир. специалистов «Конструкт.-технол. обеспечение машиностроит. пр-в» : в 2 кн. / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. – 3-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2008. – Кн. 1 : Основы технологии машиностроения. – 278 с.
4. Виноградов, В. М. Технология машиностроения : введение в специальность : учеб, пособие для студ. высш. учеб, заведений / В. М. Виноградов. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 176 с.
5. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2007. – 535 с: ил.
6. Ермолаев, В. А. Технологические процессы в машиностроении : конспект лекций / В. А. Ермолаев. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 264 с.
7. Кафка, Л. В. Искусство обработки металла / Л. В. Кафка. – М.: СПб. [и др.]: Питер, 2008. – 844 с.
8. Ланщиков, А. В. Основы технологии машиностроения Электронный конспект лекций для специальности 151001 «Технология машиностроения» / А. В. Ланщиков. – Пенза, 2006. – 198 с.
9. Солнцев, Ю. П. Технология конструкционных материалов : учебник для вузов / Ю. П. Солнцев, Б. С. Ермаков, В. Ю. Пирайнен. – 5-е изд., стереотип. – СПб.: Химиздат, 2017. – 504 с., ил.
10. Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении : учебник для бакалавров / С. Г. Ярушин. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 564 с. – (Бакалавр. Базовый курс).
11. Клименков, С. С. Обработывающий инструмент в машиностроении : учебник / С. С. Клименков. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. – 459 с.: ил. – (Высшее образование: Бакалавриат).

12. Схиртладзе, А. Г. Инструментальное оснащение технологических процессов металлообработки : учебник / А. Г. Схиртладзе [и др.]. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 280 с.

13. Мычко, В. С. Основы технологии машиностроения : учебное пособие / В. С. Мычко. – Минск: Вышэйшая школа, 2011. – 382 с.

Учебное издание

ЧИГРИНОВА Наталья Михайловна
ДЬЯЧЕНКО Ольга Владимировна

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Учебно-методическое пособие
для студентов специальностей

1-27 03 01 «Управление инновационными проектами
промышленных предприятий», 1-27 03 02 «Управление
дизайн-проектами на промышленном предприятии»,
1-36 20 03 «Торговое оборудование и технологии»,
1-52 04 01 «Производство экспозиционно-рекламных объектов»

Редактор *Н. А. Костешева*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 21.03.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 7,32. Уч.-изд. л. 5,73. Тираж 200. Заказ 475.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.