



**К. Г. Герасимович, Ю. А. Евтюшкин,  
Н. И. Фомин, И. А. Хворова**

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

## **Часть 1**

Учебное пособие

*Второе издание, исправленное*

Томск 2004



УДК 669.018.29.004.14 (075.8)

Технологические процессы машиностроительного производства. В 2-х ч.  
Часть 1 / К.Г. Герасимович, Ю.А. Евтюшкин, Н.И. Фомин, И.А. Хворова:  
Учебное пособие. – 2-е изд., испр. – Томск: Изд. ТПУ, 2004. – 103 с.

Учебное пособие включает две части. В первой части рассматриваются основы металлургического производства, литейного производства и обработки металлов давлением. Вторая часть посвящается обработке металлов резанием и сварочному производству.

Пособие подготовлено на кафедре «Материаловедение и технология металлов» ТПУ на основании лекций, прочитанных авторами студентам дневной формы обучения. Пособие соответствует программе дисциплины и предназначено для студентов ИДО, обучающихся по направлению 150700 «Машиностроение».

Ю.А. Евтюшкин (разделы 1, 5), И.А. Хворова (раздел 2),  
К.Г. Герасимович (раздел 3), Н.И. Фомин (раздел 4).

Печатается по постановлению Редакционно-издательского Совета Томского политехнического университета.

#### Рецензенты:

Б.П. Романов — доцент кафедры прикладной механики и материаловедения ТГАСУ, доктор технических наук;  
П.С. Симонов — главный инженер ЗАО «Томский инструмент».

Темплан 2004

Томский политехнический университет, 2004



## **ВВЕДЕНИЕ**

Для успешного решения многих производственных вопросов инженеру необходимо иметь сведения о современных прогрессивных способах получения и обработки металлов.

Создавая машины и приборы в любой отрасли производства (машиностроении, автомобилестроении, самолетостроении, судостроении, сельхозтехнике, производстве электромоторов, приборостроении, химическом машиностроении и др.), а также занимаясь эксплуатацией этих машин, инженер должен обеспечить определенные их характеристики в соответствии с требованиями условий эксплуатации и надежность работы. Для этого надо учитывать особенности технологических методов обработки и сборки и экономическую целесообразность изготовления изделий тем или иным способом. Следовательно, инженер должен хорошо знать основы технологических процессов.

В курсе “Технологические процессы машиностроительного производства” рассматриваются современные способы получения черных и цветных металлов, наиболее прогрессивные методы формообразования заготовок и деталей машин литьем, обработкой давлением, сваркой, обработкой резанием и другими видами обработки.

Изучение данного курса способствует успешному усвоению специальных дисциплин, формирующих технический кругозор инженера.

## 1. МЕТАЛЛУРГИЯ

Это отрасль промышленности, которая служит для получения металлов из руды.

За несколько тысячелетий до н. э. люди начали использовать металлы, сначала самородные (медь, золото), а затем, в третьем и втором тысячелетии до н. э., научились выплавлять бронзу (сплав меди с другими металлами). Позже появилось кустарное производство железа и стали из железной руды методом восстановления губчатого железа в твердом состоянии. В твердом же состоянии получали сталь, насыщая губчатое железо углеродом в древесном угле.

Только с XIII–XIV веков появилось производство жидкого чугуна из железной руды. Сталь выплавлять научились в XIX веке.

### 1.1. Современное металлургическое производство чугуна и стали

Металлургическое производство представляет собой сложный комплекс различных производств, базирующихся на месторождениях руд, коксующихся углей и энергетических мощностей. Оно включает следующие комбинаты, заводы, цехи (рис. 1.1):

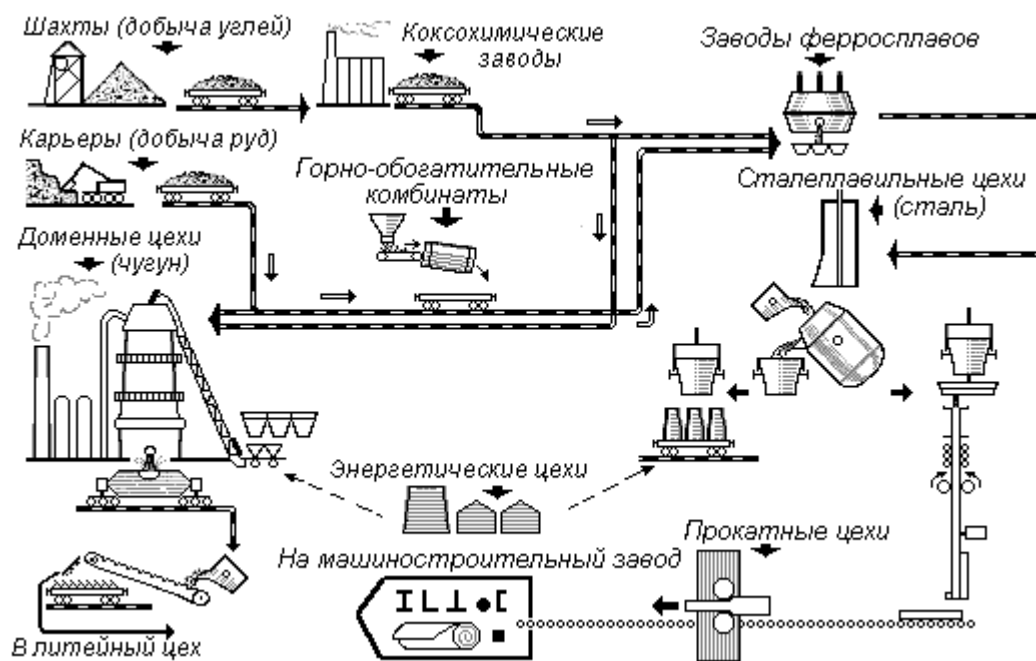


Рис. 1.1. Схема современного металлургического производства

- 1) шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей;
- 2) горно-обогатительный комбинат, где подготавливают руды к плавке;
- 3) коксохимический завод или цех, где осуществляют получение кокса из угля и извлечение из него полезных химических продуктов;

4) энергетические мощности – это электростанция, цехи для получения сжатого воздуха (для дутья доменных печей) и кислорода (для кислородного конвертора);

5) доменная печь для выплавки чугуна и ферросплавов (ферросилиций, ферромарганец);

6) заводы для производства ферросплавов (для легирования специальных сталей);

7) сталеплавильные цехи (конверторный, мартеновский, электросталеплавильный);

8) прокатные цехи, в которых слитки стали прокатывают в сортовой прокат: балки, рельсы, прутки, уголки, листы и т. д.

## 1.2. Материалы для производства чугуна и стали

Исходными материалами для производства чугуна и стали являются:

1. Руды. 2. Флюсы. 3. Топливо. 4. Огнеупоры.

**Руда** состоит из минералов, содержащих металл, и пустой породы. В минералах металлы находятся в виде химических соединений (окислы, силикаты, карбонаты, сернистые соединения).

**Промышленной рудой** называют горную породу, из которой при данном уровне развития техники целесообразно извлекать металлы.

Для железных руд промышленным является содержание 30–50 % железа, для медных руд – 1–5 % меди, для молибденовых руд – 0,005–0,02 % молибдена.

Железные руды содержат железо в различных соединениях. Магнитный железняк содержит магнитную окись железа  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (55–60 % железа). Наиболее крупное месторождение этой руды – Курская магнитная аномалия.

Красный железняк  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  содержит 55–60 % железа. Бурый железняк содержит гидраты окислов железа  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (37–55 % железа). Остальное – пустая порода, состоящая из  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ .

**Флюсы** – это материалы, которые загружают в печь для образования легкоплавкого соединения с пустой породой. Это соединение называется **шлаком**. Шлак должен быть легче металла и всплывать на поверхность.

Шлак играет полезную дополнительную роль в процессе плавки: он защищает жидкий металл от вредного влияния воздуха.

Шлаки бывают **кислые**, если в их состав входят кислые окислы  $\text{SiO}_2$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$ , и **основные**, если в их состав входят основные окислы  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$  и т. д.

При высоких температурах рабочего пространства печи шлаки могут взаимодействовать с футеровкой печи и выводить ее из строя. Например, если печь выложена кирпичом из основного материала, введение кислых флюсов приведет к разрушению футеровки. При плавке в печах с кислой футеровкой используют кислый флюс  $\text{SiO}_2$  – кварцевый песок, а в печах с основной футеровкой используют известняк ( $\text{CaCO}_3$ ) или доломит ( $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ).





**Топливо.** Главными видами топлива в металлургических печах являются кокс, природный газ, мазут, а также доменный, или колошниковый газ.

**Кокс** получают в коксовых печах сухой перегонкой при температуре 1000 °С (без доступа воздуха) каменного коксующегося угля. В процессе коксования угольная масса размягчается, из нее выделяются газообразные продукты, затем уголь превращается в пористую массу – кокс. Из газообразных продуктов получают бензол, фенол, каменноугольную смолу,  $\text{CO}_2$  и другие ценные продукты.

Процесс коксования длится 14–16 часов. Затем кокс выталкивают из печи и тушат водой. Дополнительно применяются в качестве топлива природный газ, мазут.

**Огнеупорные материалы.** В современных металлургических печах процесс плавки ведется при высоких температурах. Поэтому внутреннюю облицовку (футеровку) печей и ковшей для разлива жидкого металла делают из огнеупорного материала.

Огнеупорные материалы делают в виде кирпичей и порошков. По химическим свойствам огнеупоры подразделяются на кислые, основные и нейтральные.

Материалы, содержащие большое количество кремнезема  $\text{SiO}_2$ , называются *кислыми* (диновский кирпич). Материалы, содержащие основные окислы  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ , называются *основными* (магнезитовый, доломитовый кирпич).

Материалы, содержащие большое количество  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , называются *нейтральными* (шамотный хромомagneзитовый кирпич). Углеродистый кирпич содержит до 92 % С. Магнезитовые кирпичи имеют огнеупорность более 2000 °С. Доломитовые – до 2000 °С. Шамотный кирпич (нейтральный) имеет огнеупорность до 1580–1730 °С.

### 1.3. Производство чугуна

Выплавка чугуна производится в доменных печах. Сущность процесса получения чугуна заключается в восстановлении чистого железа из окислов, входящих в состав руды, с помощью твердого углерода при температурах ниже температуры плавления железа. При этом из руды получается твердое губчатое железо. Затем губчатое железо насыщается углеродом, при этом температура плавления его понижается, и оно переходит в жидкое состояние в виде чугуна.

#### 1.3.1. Технология доменной плавки

- Послойная загрузка шихты и кокса в доменную печь;
- горение топлива;
- восстановление железа из руды;

- науглероживание железа и его расплавление;
- восстановление кремния и марганца и переход их в образующийся чугун;
- шлакообразование;
- удаление серы;
- выпуск шлака и жидкого чугуна;
- разливка чугуна на чушки или транспортировка в жидком состоянии для передела в сталь.

### 1.3.2. Устройство и работа доменной печи

**Доменная печь** (рис. 1.2) – печь шахтного типа. Имеет снаружи стальной кожух, выложенный изнутри огнеупорным шамотным кирпичом. Рабочее пространство печи включает колошник 6, шахту 5, распар 4, заплечики 3, горн 1, лещадь 15. В верхней части колошника находится засыпной аппарат 8, через который в печь загружают шихту слоями (*колошами*). Шихта состоит из обогащенной руды (концентрата) в виде кусков размером 30–50 мм, кокса и флюсов. Из мелких фракций руды предварительно готовят агломерат или окатыши. *Агломерат* получают путем спекания на агломерационной фабрике мелких (менее 10 мм) частиц концентрата с коксом и флюсом. *Окатыши* получают из пылевидных фракций путем окомкования в шарики размером 30 мм и обжига.

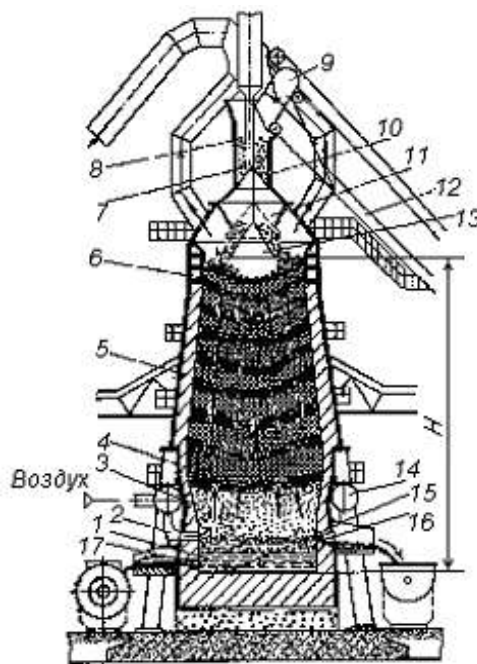


Рис. 1.2. Схема устройства доменной печи

Взвешенные порции шихты и кокса с помощью вагонетки 9 скипового подъемника по наклонному мосту 12 поднимаются к засыпному аппарату 8, где опрокидываются в приемную воронку 7. При опускании малого конуса 10 шихта попадает в чашу 11. После чего малый конус закрывается, опускается

большой конус 13, и шихта попадает в печь. Такая последовательность работы механизмов засыпного аппарата необходима для предотвращения выхода колошниковых газов из доменной печи в атмосферу.

Все механизмы засыпного аппарата, скипового подъемника и вагон-весов работают автоматически по заданной программе.

В процессе работы печи шихта постепенно опускается, а новые порции шихты постоянно добавляются. В верхней части горна находятся фурменные устройства 14 для подачи через фурмы 2 нагретого воздуха, необходимого для горения кокса. По мере скопления чугуна и шлака их выпускают из печи:

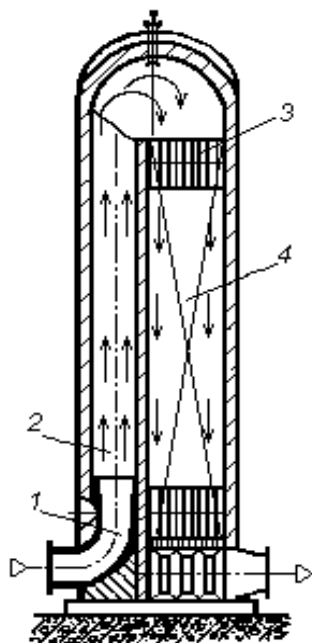


Рис. 1.3. Схема устройства воздухонагревателя

чугун – через чугунную летку 17, а шлак – через шлаковую летку 16.

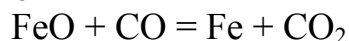
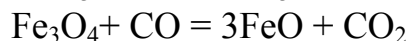
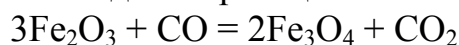
Доменная печь может работать только на нагретом до 1000 °С воздухе. Нагретый воздух, необходимый для горения кокса, поступает в печь через фурмы из воздухонагревателей. Внутри воздухонагревателя (рис. 1.3) имеется камера сгорания 2 и насадка 4. Насадка выложена из огнеупорных кирпичей 3 так, что между ними образуются вертикальные каналы. В нижнюю часть камеры сгорания к горелке 1 подается очищенный от пыли колошниковый газ, который сгорает и, проходя через насадку, нагревает ее. Затем подача газа к горелке прекращается, и через насадку пропускается холодный воздух. Воздух, проходя через воздухонагреватель, нагревается до 1000–1200 °С и поступает через фурмы в доменную печь.

### 1.3.3. Реакции металлургического процесса доменной печи

1. Горение топлива. В нижних зонах печи на уровне фурм происходит горение кокса  $C + O_2 = CO_2$ . При этом температура повышается до 2000 °С. Углекислый газ, взаимодействуя с коксом, восстанавливается до окиси углерода:  $CO_2 + C = 2CO$ . При использовании природного газа дополнительно выделяются  $CO$  и  $H_2$ .

2. Восстановление железа. Окись углерода и углерод имеют большее сродство к кислороду, чем железо. Поэтому, уже начиная с температуры 600 °С, углерод, окись углерода и водород отбирают кислород у твердых окислов железной руды, восстанавливая чистое губчатое железо в твердом состоянии.

Восстановление железа идет по реакциям:

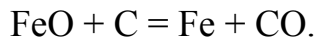
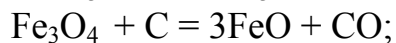
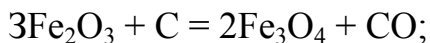






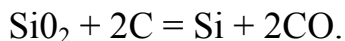
Это так называемое **косвенное восстановление** протекает при температурах 500–900 °С.

При температурах 900–1100 °С происходит **прямое восстановление** железа углеродом:

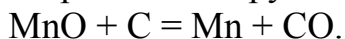


3. Восстановленное железо получается в виде твердой губчатой массы. Соприкасаясь с углеродом кокса и реагируя с окисью углерода, железо насыщается углеродом. Температура его плавления понижается, и науглероженное железо переходит в жидкое состояние. Стекая вниз по кускам раскаленного кокса, железо дополнительно науглероживается и в виде чугуна накапливается в горне печи.

4. Параллельно с восстановлением железа восстанавливаются углеродом кремний и марганец. Кремний восстанавливается из пустой породы:



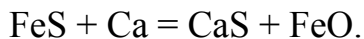
Марганец – из руды:



Марганец и кремний растворяются в железе, легируя чугун.

5. Пустая порода, зола топлива и флюсы образуют легкоплавкое соединение, не смешивающееся с чугуном – **шлак**. Шлак легче чугуна и поэтому находится на поверхности.

6. Взаимодействие флюса CaO с серой, находящейся в чугуне в виде FeS, частично переводит ее в шлак:



Фосфор полностью остается в чугуне. Окончательное удаление серы и фосфора происходит при переплавке чугуна в сталь.

По мере скопления чугуна и шлака их выпускают из печи. Шлак – через шлаковую летку в шлаковую чашу. Чугун спускают через чугунную летку в чугуновозный ковш. Емкость чугуновозных ковшей 90–140 т. В них чугун транспортируется в сталеплавильный цех для передела в сталь или на разливочные машины, где его разливают в формы. Чугун в них затвердевает в виде слитков – **чушек** весом 45 кг.

Часто шлак не сливают в шлаковые чаши, а для удобства использования подвергают жидкой грануляции: на него направляют струю воды, под действием которой он рассыпается на мелкие гранулы.

### 1.3.4. Продукты доменной плавки

В доменных печах получают три продукта: чугун, шлак и колошниковый газ.

**Чугун** – главный продукт доменной плавки. В зависимости от назначения получают чугун разного химического состава.

1. *Передельный чугун* выплавляют для передела его в сталь в конверторах или мартеновских печах. Он содержит 4 % С; 0,6 % Si; до 1 % Mn; до 0,3 % P; до 0,07 % S.

Передельный чугун выплавляют трех видов:

- а) коксовый М1, М2, М3, Б1, Б2;
- б) фосфористый МФ1, МФ2, МФ3;
- в) высококачественный ПВК1, ПВК2, ПВК3.

Чугуны М1–М3 предназначены для мартеновских печей, Б1 и Б2 – для бессемеровских конверторов; МФ1–МФ3 – фосфористые чугуны для мартеновской печи; ПВК1–ПВК3 – передельные высококачественные чугуны.

По содержанию вредных примесей Р и S чугуны разделяются:

- а) по фосфору – на классы А, Б и т. д.
- б) по сере – на категории I, II, и т. д.

2. *Литейный чугун* применяется для получения литых деталей. Марки ЛКО, ЛК1 – ЛК5 имеют повышенное содержание кремния для увеличения жидкотекучести.

Для художественного литья применяют фосфористые чугуны, содержащие до 1,2 % P.

3. *Доменные ферросплавы* – это сплавы Fe с Si, Mn или с другими металлами. Они применяются для легирования и раскисления стали.

- а) Зеркальные чугуны ЗЧ1, ЗЧ2, ЗЧ3 содержат до 10–25 % Mn.
- б) Доменный ферромарганец Мн6, Мн7 содержит до 70–75 % Mn.
- в) Доменный ферросилиций Си10, Си15 содержит 9–13 % Si и до 3 % Mn.

**Шлак и колошниковый газ** являются побочными продуктами доменной плавки.

Гранулированный шлак используют для производства цемента, шлаковых строительных кирпичей и блоков, щебня, шлаковаты и других строительных материалов. Применяются также литые шлаковые изделия.

Колошниковый газ содержит значительное количество горючих составляющих (26–32 % CO, до 4 % H<sub>2</sub>), его теплотворная способность 850–950 кал/м<sup>3</sup>. Поэтому после очистки от пыли он используется для нагрева воздуха (в воздухонагревателях), а также в качестве топлива в цехах металлургического завода.

### 1.3.5. Техничко-экономические показатели доменной печи

Основным показателем эффективности доменного процесса является *коэффициент использования полезного объема печи (КИПО)*, равный отношению полезного объема печи в м<sup>3</sup> к среднесуточной выплавке чугуна в тоннах. КИПО современных доменных печей приближается к 0,4 м<sup>3</sup>/т.

Важным показателем доменной плавки является *удельный расход кокса* на одну тонну выплавляемого чугуна, он составляет 450–550 кг/т.



## 1.4. Производство стали

### 1.4.1. Сущность процесса

1. Во всем мире сталь изготавливают из перепельного чугуна и стального лома (скрапа).

2. Сталь отличается от чугуна более низким содержанием углерода (менее 2,14 %) и примесей (P, S, Mn, Si и др.)

3. При переделе чугуна в сталь углерод удаляют путем его окисления при продувке через жидкий чугун воздуха или кислорода.

4. Примеси  $MnO$ ,  $SiO_2$ , P, S удаляют путем перевода их в шлак.

5. Сталь в процессе получения насыщается кислородом. Сталь, содержащая кислород, непригодна для обработки давлением (ковки, прокатки), т. к. в ней образуются трещины при деформации в нагретом состоянии.

6. Для удаления кислорода из стали в процессе плавки ее раскисляют, т. е. вводят в нее элементы с большим сродством к кислороду (Mn и Si в виде ферросплавов и металлический Al).

Раскисление является завершающим этапом выплавки стали.

Сталь производят в различных металлургических агрегатах, имеющих разный принцип действия: конверторы, мартеновские печи, электропечи.

### 1.4.2. Производство стали в конверторах

**Конвертор** представляет собой сосуд грушевидной формы. Снаружи конвертор обшит стальными листами, внутри выложен огнеупорным материалом (футеровка). Заливка чугуна и завалка скрапа производится через горловину; разливка стали – через лентку.

Различают три вида металлургических процессов при выплавке стали в конверторах: бессемеровский процесс, томасовский процесс и кислородно-конверторный процесс. Соответственно различают бессемеровский, томасовский и кислородный конверторы.

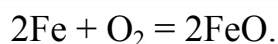
В бессемеровских конверторах (кислый конвертор) футеровка выложена из кислых огнеупоров (динасовый кирпич). В томасовских конверторах футеровка выложена из основных огнеупоров (доломитовый кирпич). Кислая футеровка выдерживает 1000–2000 плавов, а основная – 300–400. Днище конвертора меняют чаще, так как оно разрушается быстрее. Кислородные конверторы обычно имеют основную магнезитовую футеровку.

**Бессемеровский процесс.** При этом процессе производства стали используют чугун с высоким содержанием кремния (до 2 %) и марганца (до 1,5 %) и минимальным количеством серы и фосфора. Плавка в бессемеровском конверторе состоит из следующих периодов:

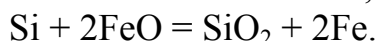
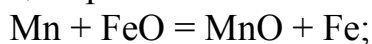
1. Завалка скрапа.

2. Заливка жидкого чугуна.

3. Продувка воздуха снизу и образование шлака (период искр). При продувке кислород воздуха вступает в реакцию с железом:

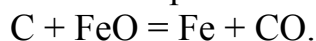


Образующаяся закись железа переходит в шлак и растворяется в жидком металле, где окисляет марганец и кремний:



Оксиды марганца и кремния переходят в шлак. В этот период металл сильно разогревается, из конвертора вылетают вместе с газами капельки жидкого чугуна, образующие в воздухе искры.

4. Этот период начинается с выгорания из чугуна углерода:



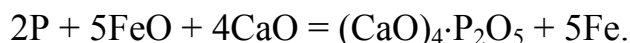
Оксид углерода сгорает в воздухе, образуя над горловиной яркое пламя.

5. В последний период над горловиной конвертора появляется бурый дым. Это значит, что все примеси окислились, перешли в шлак и начинает окисляться железо. Это означает конец плавки. Конвертор наклоняют в горизонтальное положение, сливают шлак и вводят раскислители: ферромарганец и либо ферросилиций, либо алюминий. Готовую сталь через летку конвертора сливают в ковш. Перед заливкой в конвертор чугун некоторое время выдерживают в больших футерованных сосудах – миксерах – для усреднения его химического состава, регулирования температуры и частичного обессеривания (в бессемеровском конверторе невозможно удалять серу).

**Томасовский процесс.** Наличие громадных месторождений полезных руд с большим количеством фосфора вызвало необходимость выплавки стали из фосфористых чугунов. При томасовском способе футеровка конвертора основная. Это позволяет получать основные шлаки, необходимые для удаления фосфора.

В конвертор засыпают свежееобожженную известь ( $\text{CaO}$ ), а затем заливают чугун с высоким содержанием фосфора (1,6–2,0 %), минимально возможным содержанием кремния (до 0,6 %) и серы (до 0,076 %).

Производят продувку воздухом (как и при бессемеровском процессе). При этом окисляются железо, кремний, марганец, и образуется основной шлак. Температура металла повышается, но фосфор из него еще не удален. В следующий период происходит выгорание углерода до 0,1–0,2 % и снижение температуры металла до 1400 °С. После этого начинается интенсивное удаление фосфора, т. е. его окисление и ошлакование:



Температура при этом повышается до 1600 °С. Перед введением в сталь раскислителей из конвертора необходимо удалить шлак. В противном случае фосфор восстановится из шлака и перейдет обратно в металл. Томасовские шлаки содержат до 24 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; их применяют в сельском хозяйстве в качестве удобрения.



**Кислородный конвертор** представлен на рис. 1.4. Сверху он имеет стальной кожух 3, выложенный изнутри основным огнеупорным кирпичом 4 (магнезитовым или доломитовым). Конвертор выполнен поворотным на цапфах 5, что необходимо для загрузки скрапа, заливки чугуна и слива шлака и готовой стали. Фурма 1 вставляется через горловину 2. Емкость конвертора составляет 130–350 т жидкого металла.

Кислородный конвертор был создан в XX веке в связи с бурным развитием металлургии. Конвертор позволяет увеличить производительность, а главное – снизить содержание азота в готовой стали до 0,005–0,004 % вместо 0,02 % при воздушном дутье. Технология плавки в кислородном конверторе представлена на рис. 1.5.

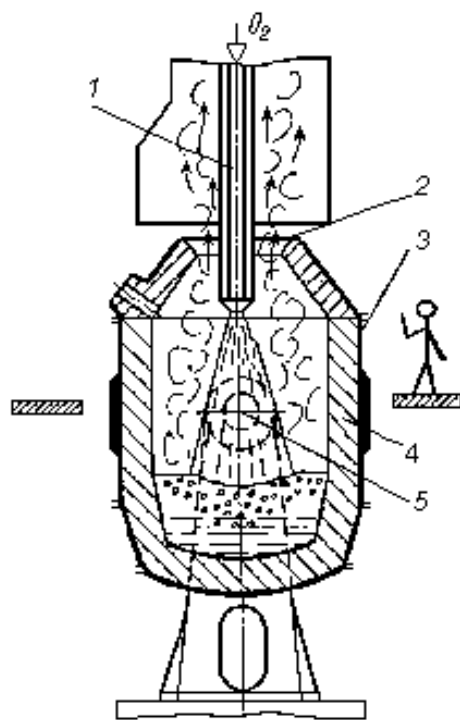


Рис. 1.4. Схема устройства кислородного конвертора

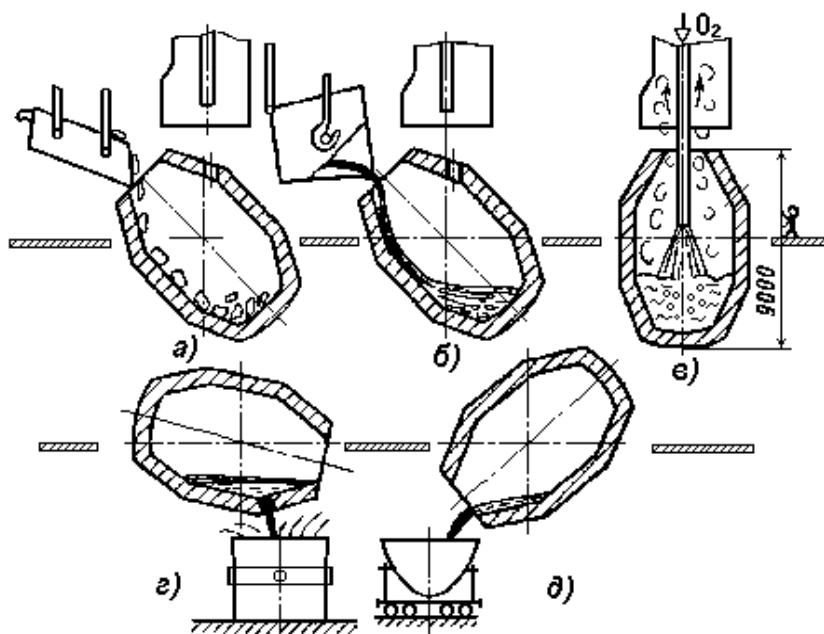


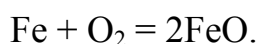
Рис. 1.5. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конверторах



#### **1.4.2.а. Металлургические процессы при выплавке стали в кислородном конвертере**

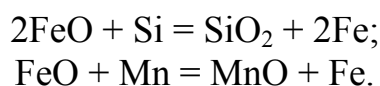
Шихтовые материалы вводят через горловину конвертора: в первую очередь скрап, а затем заливают чугун. Количество стального лома составляет 25–30 % от массы чугуна. Чугун должен содержать 3,7–4,4 % углерода; 0,5–1,5 % марганца; 0,5–1,5 % кремния; 0,03–0,08 % серы и не более 0,3 % фосфора. Температура заливаемого чугуна должна быть 1250–1400 °С. После ввода исходных шихтовых материалов внутрь конвертора через горловину вводят кислородную фурму и начинают подавать кислород. Одновременно с началом продувки и далее по мере надобности в конвертор загружают шлакообразующие материалы.

В зоне контакта кислородной струи (давление 9–14 атмосфер) кислород окисляет все примеси, однако наиболее интенсивно окисляются железо:

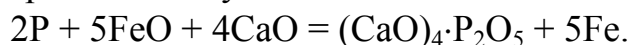


Закись железа переходит в сталь и в шлак.

После этого закись железа FeO, растворенная в металле, вступает в реакцию с примесями и удаляет их в шлак:



Удаление фосфора происходит путем окисления и ошлакования:

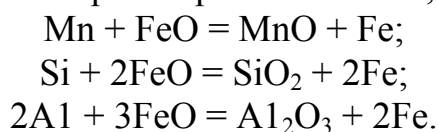


Образовавшийся фосфат кальция легче жидкого металла, поэтому всплывает на поверхность и удаляется в шлак. При повышенном содержании фосфора (более 0,15 %) производят промежуточный слив шлака и наведение нового путем загрузки извести.

Удаление серы происходит по реакции:  $\text{FeS} + \text{CaO} = \text{CaS} + \text{FeO}$  с переходом CaS в шлак.

Подачу кислорода заканчивают, когда содержание углерода в металле будет соответствовать заданному содержанию в стали. При излишке марганца и кремния делают кратковременную додувку; при излишне высокой температуре загружают стальной лом. Готовая сталь должна иметь температуру 1580–1650 °С.

Для уменьшения содержания кислорода производят раскисление стали. Для этого при выпуске стали из конвертора в ковш добавляют ферромарганец, ферросилиций и чистый алюминий. Раскисляющие элементы, соединяясь с кислородом, образуют нерастворимые окислы, всплывающие в шлак:



Легированные стали трудно выплавлять в конверторах, т. к. они быстро окисляются. Поэтому легирующие элементы при выплавке легированных сталей, для предотвращения их выгорания, вводят в виде ферросплавов в ковш, чаще всего расплавив предварительно в электропечи. После этого в ковш выливают готовую сталь.

#### 1.4.2.б. Техничко-экономические показатели конверторного процесса

Плавка в конверторе емкостью 130–300 т заканчивается через 25–50 минут. Производительность конвертора емкостью 300 т составляет 400–500 т стали в час, а в мартеновских и электропечах – не более 80 т/час. Расход кислорода колеблется в пределах от 1,8 до 4 м<sup>3</sup> на тонну стали.

**Область применения.** Конверторная сталь самая дешевая и низкокачественная, однако выплавляется в больших количествах. В связи с трудностью ввода в конвертор легирующих элементов, особенно легкоокисляющихся, в них выплавляют углеродистые и низколегированные (с содержанием легирующих элементов около 2–3 %) конструкционные и инструментальные стали.

#### 1.4.3. Производство стали в мартеновских печах

Мартеновская печь была разработана в 1865 г. французскими металлургами Э. Мартеном и его сыном П. Мартеном. *Мартеновская печь* (рис. 1.6) – это пламенная отражательная регенеративная печь.

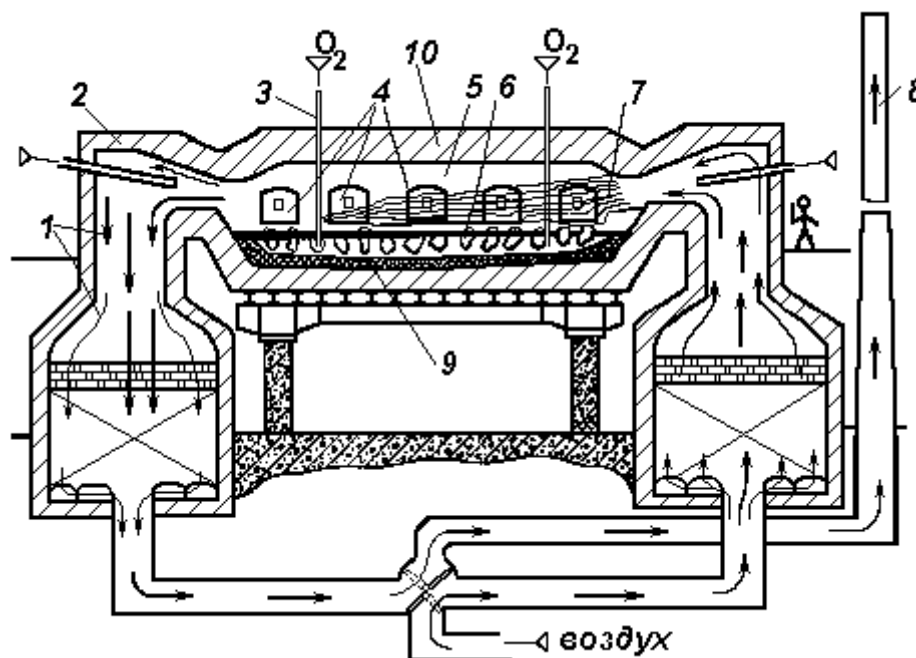


Рис. 1.6. Схема мартеновской печи



Работает на газообразном (природный газ) или жидком топливе (мазут). Она имеет рабочее пространство 5, ограниченное снизу подиной 9, сверху – сводом 10, а с боков – передней и задней стенками. Подина имеет форму ванны. Футеровка печи может быть основной и кислой. Если в процессе плавки стали в шлаке преобладают основные окислы, процесс называется *основным мартеновским процессом* (футеровка должна быть основной). А если преобладают кислые окислы – *кислым* (футеровка должна быть кислая). Футеровку основной мартеновской печи изготавливают из магнезитового кирпича, а верхний рабочий слой подины набивают магнезитовым порошком. В передней стенке печи находятся загрузочные окна 4 для подачи шихты в печь. В задней стенке печи имеется летка для слива стали. Перед плавкой летку заделывают малоспекающимися огнеупорами.

Для подогрева воздуха при работе на газообразном топливе печь имеет два регенератора 1. Регенератор представляет собой камеру, в которой размещена насадка – огнеупорный кирпич, выложенный в клетку. Температура отходящих из печи газов составляет 1500–1600 °С. Попадая в регенераторы, они нагревают насадку до 1250–1280 °С, а охлажденные до 500–600 °С газы уходят в заводскую трубу 8. Нагретый воздух поступает в головку печи 2, где смешивается с топливом и образует факел 7, направленный на шихту 6.

После охлаждения правого регенератора происходит переключение клапанов, и поток газов в печи изменяет направление. Теперь воздух поступает через левый регенератор, а правый становится на нагрев. Емкость мартеновских печей колеблется в широких пределах. Для выплавки небольшого количества стали используют малые печи емкостью 30–80 т.

В России на металлургических заводах используются печи на 250–500 т с размером ванны до 20 м × 6 м.

Редко бывают печи-монстры емкостью до 900 т. Чем крупнее печь, тем выше ее экономическая эффективность.

Продолжительность плавки в малых печах составляет 3–6 час., в средних – до 12 час. Мартеновская печь работает непрерывно до остановки на капитальный ремонт через 400–600 плавов (кампания печи).

Шихта для мартеновских печей состоит из следующих компонентов:

1. Доменный пердедельный чугуны марок М1, М2, М3 в жидком состоянии или в виде чушек.
2. Стальной скрап.
3. Флюс.
4. Раскислители.

#### 1.4.3.а. Разновидности мартеновского процесса

Мартеновские печи и, соответственно, процессы плавки в них могут быть основными и кислыми. Мартеновскую сталь выплавляют, главным образом, основным процессом, который разделяется на скрап-процесс и скрап-рудный процесс.



1. **Скрап-процесс**, при котором основную массу шихты составляет скрап с добавкой чушек чугуна, применяется на малых печах (до 100 т) на машиностроительных заводах, где нет доменных печей.

2. **Скрап-рудный процесс**, при котором основная часть шихты состоит из жидкого чугуна (до 75 %), а твердая часть – из скрапа и руды, применяется на средних и крупных печах на металлургических заводах, где есть доменные печи.

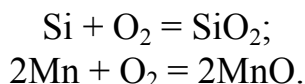
*Кислый мартеновский процесс* применяется в небольших печах с кислой футеровкой, где нельзя использовать известь, следовательно, удалять из металла серу и фосфор. Поэтому требуется очень чистая шихта по S и P. Это дорого.

*Мартеновский основной скрап-процесс* металлурги разделяют на ряд периодов плавки стали.

1. Заправка печи проводится перед каждой очередной плавкой. Она заключается в ремонте (заделке) повреждений подины. В эти места – щели, трещины – насыпают магнезитовый или доломитовый порошок.

2. Завалка (загрузка) шихтовых материалов осуществляется через загрузочные окна завальными машинами (скрап, известняк и чугун в чушках).

3. Период плавления. При плавлении чугуна и скрапа Si и Mn чугуна окисляются почти полностью избыточным кислородом печных газов:

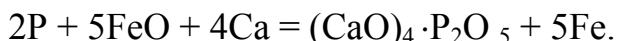


Известь тоже разлагается:



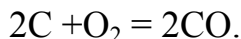
Образуется слой шлака из окислов, и окисление металла непосредственно кислородом пламени прекращается.

В период плавления создаются благоприятные условия для удаления фосфора.



Эта реакция называется процессом дефосфорации.

4. Период кипения ванны. Для этого в печь подают некоторое количество железной руды или вставляют сверху фурму 3 и продувают ванну кислородом. Происходит интенсивное выгорание из стали избытка углерода с образованием угарного газа:



Пузырьки CO всплывают на поверхность, и ванна начинает «кипеть». При этом шлак вспенивается, начинает увеличиваться в объеме и выливается через одно из окон в шлаковый ковш. Эта реакция называется главной в мартеновской плавке, т. к. из-за энергичного перемешивания металла:

а) выравнивается температура металла в ванне;

б) за счет выгорания углерода происходит доводка химического состава стали по углероду;

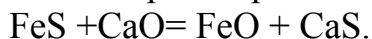




в) пузырьки  $\text{CO}$ , поднимаясь на поверхность, захватывают с собой вредные газы  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2$  и шлаковые капли. Чистота стали повышается;

г) выравнивается химический состав стали.

5. Рафинирование стали – это процесс удаления серы. Наиболее хорошо происходит в конце периода кипения. При так называемом чистом кипении, когда шлак почти вылился, продувка кислородом прекращается, и ванна продолжает кипеть за счет остатков растворенного кислорода:



Этому способствует наличие большого количества  $\text{CaO}$  в шлаке (45–50 %  $\text{CaO}$ ), уменьшение количества закиси железа  $\text{FeO}$ , нагрев металла до самой высокой температуры. Если в шлаке и стали будет много  $\text{FeO}$ , то по закону действующих масс реакция не пойдет.

Начиная с расплавления шихты, до выпуска стали из печи, регулярно отбирают пробы металла и шлака для химического экспресс-анализа состава. Если содержание углерода, S и P соответствует заданному, приступают к раскислению стали. Если нет, то снова подают в печь флюс, производят продувку стали кислородом, вспенивают шлак, скачивают его в ковши, при этом происходит снижение содержания C, S и P. Иногда вместо кислорода подают в печь чистую по сере и фосфору руду.

6. Раскисление металла производят в два этапа: а) за счет подачи в печь ферромарганца и ферросилиция; б) окончательно – в ковше при разливке стали, предварительно засыпав в ковш порцию алюминия и ферросилиция.

Основным скрап-процессом, как правило, выплавляют спокойную, качественную сталь. При выплавке легированных сталей легкоокисляющиеся легирующие элементы (Cr, V, Ni и Mo) в виде ферросплавов вводят в ванну после раскисления.

#### 1.4.3.6. Техничко-экономические показатели мартеновского процесса

Эффективность получения стали в мартеновских печах оценивается *средним съемом стали с 1 м<sup>2</sup> площади пода в сутки и расходом топлива на тонну выплавляемой стали*. Средний съем стали в современных мартеновских печах составляет около 10 т/м<sup>2</sup> в сутки, а расход условного топлива – около 80 кг/т стали.

Дополнительными характеристиками мартеновской плавки являются расход кислорода на тонну стали, расход жидкого чугуна в кг/т, и себестоимость одной тонны стали.

**Область применения.** Мартеновской плавкой получают углеродистые стали и ряд марок легированных сталей. При этом основным скрап-рудным процессом преимущественно получают углеродистые стали, т. к. чугун, известняк и железная руда вносят в металл много вредных примесей. Наиболее качественную, чаще всего легированную, сталь получают основным скрап-процессом без применения руды. Вместо руды в этом случае для проведения реакции вспенивания применяют кислород.



Кислый мартеновский процесс позволяет получать как углеродистые, так и легированные стали, но требует сверхчистого по сере и фосфору металлолома в большом количестве (до 50 % от массы чугуна).

#### **1.4.4. Производство стали в электропечах**

Производство стали в электропечах имеет ряд преимуществ по сравнению с другими плавильными агрегатами. В электропечах можно быстро нагревать и плавить металл, выплавлять высококачественные стали.

Электропечи используют для выплавки конструкционных сталей ответственного назначения, высоколегированных инструментальных, нержавеющих и др. специальных сталей.

Электроплавильные печи бывают дуговыми и индукционными.

##### **1.4.4.а. Выплавка стали в электрических дуговых печах**

Процесс электродуговой выплавки стали появился в конце XIX – начале XX века. В этих печах в качестве источника тепла используют электрическую дугу, возникающую между электродами и металлической шихтой.

Емкость дуговых печей колеблется от 0,5 до 400 т. Рабочее напряжение в малых печах 100–200 В, в больших – 400–600 В. Сила тока – до десятков тысяч ампер. Длина дуги регулируется автоматически. Электропечи бывают с основной и кислой футеровкой.

В металлургических цехах обычно используют печи с основной футеровкой, в литейных – с кислой. Однако большая доля электростали выплавляется в основных печах. Применяют два вида технологии плавки в основных печах: на углеродистой шихте и на легированной.

*Дуговая электросталеплавильная печь* (рис. 1.7) питается трехфазным переменным током, имеет три электрода 9, изготовленных из графитизированной массы. Электрический ток от трансформатора подается гибкими кабелями 7 к электрододержателям 8. Между электродами и шихтой 3 горят дуги 13. Рабочее напряжение 180–600 В, сила тока 1–10 кА. Во время работы печи длина дуги регулируется автоматически путем вертикального перемещения электродов.

Снаружи печь имеет стальной кожух 4, изнутри футерована огнеупорным кирпичом 1 (основным – магнезитовым, или кислым – диносовым). Подина печи набивается огнеупорной массой 12. Печь имеет стенки 5 и свод 6 (съёмный). Для ведения плавки имеется рабочее окно 10, для слива металла – желоб 2. Печь можно наклонять с помощью механизма 11.

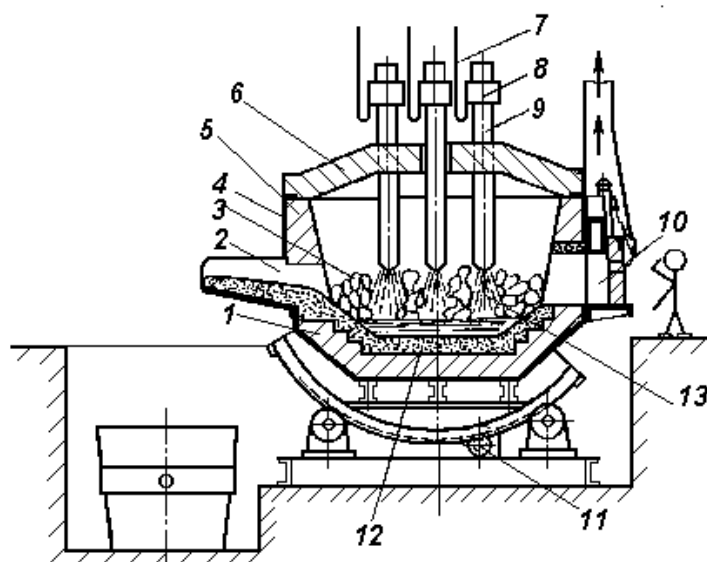


Рис. 1.7. Схема дуговой электрической плавильной печи

*Плавка на углеродистой шихте* чаще применяется для производства конструкционных углеродистых сталей и имеет много общего с мартеновским скрап-процессом.

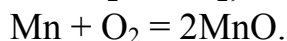
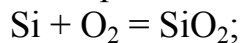
Шихта состоит из 90 % стального скрапа и 10 % передельного чугуна М1 или М2. Флюс – известь. Шихта должна быть чистой по сере и фосфору. Плавка состоит из следующих периодов:

1. Заправка печи.
2. Завалка шихты.

В старых печах шихту загружают через рабочие окна завалочными машинами. В новых крупных печах шихта загружается сверху. Для этого свод поднимается и отводится в сторону.

После загрузки электроды опускают, под них подкладывают куски кокса (для облегчения зажигания дуги) и включают ток. При опускании электродов в шихте проплавляются колодцы.

3. Образуется шлак, как и в мартеновской печи:



4. Окислительный период (в мартеновском процессе это – период кипения).

После расплавления металла и шлака и нагрева ванны до 1500 °С в печь загружают железную руду и известь. Содержащийся в руде кислород интенсивно окисляет углерод и вызывает кипение ванны:  $\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$ .

Шлак вспенивается, уровень его повышается. Для выпуска шлака печь наклоняют в сторону рабочего окна, шлак стекает в шлаковую чашу. Кипение ускоряет нагрев ванны, удаление из металла газов, неметаллических включений, способствует удалению фосфора.

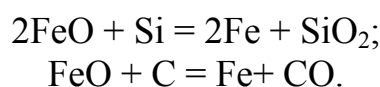


Шлак удаляют, руду и известь добавляют 2–3 раза, пока не доведут содержание фосфора в стали до 0,01 %.

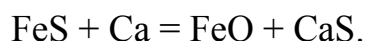
5. Восстановительный период плавки включает раскисление металла и удаление серы, а также доводку химического состава стали до заданного. Раскисление электростали, в отличие от мартеновской и конверторной стали, производят комбинированным путем: глубинным (осаждающим) и диффузионным.

Для *глубинного раскисления* в печь загружают ферромарганец, ферросилиций и алюминий.

Затем металл раскисляют *диффузионным способом*. Сущность его заключается в следующем: раскисляют не металл, а шлак, восстанавливая в нем FeO:



В соответствии с законом действующих масс уменьшение содержания оксида FeO в шлаке вызывает его интенсивный диффузионный переход из металла в шлак, чем и обеспечивается раскисление металла. Этот метод позволяет почти полностью раскислить металл. Процесс протекает в шлаке и на границе шлак – металл. При этом металл не загрязняется неметаллическими включениями. Удаление серы в виде CaS обеспечивается значительно лучше, чем в мартеновской печи. Это объясняется высокой основностью шлака и хорошей раскисленностью шлака и металла. Эти условия необходимы, чтобы протекала реакция рафинирования металла:



По ходу восстановительного периода берут пробы для определения химического состава стали. После этого следует выпуск металла из печи в ковш.

При выплавке легированных сталей по этой технологии в сталь вводят легирующие элементы в виде ферросплавов. Порядок ввода определяется сродством легирующих элементов к кислороду.

Никель, молибден, вольфрам и другие не окисляющиеся в ходе плавки элементы вводят в период плавления или в окислительный период. Хром – легко окисляющийся элемент – вводят в восстановительный период. Кремний, ванадий, титан – наиболее сильно окисляющиеся элементы – вводят перед выпуском в ковш.

*Плавку на легированной шихте* производят из отходов легированных сталей (например, быстрорежущую сталь выплавляют из отходов быстрорежущей стали; нержавеющую сталь – из отходов нержавеющей стали). По сути, это переплав. После расплавления шихты металл доводят (если требуется) до химического состава (добавляют углерод, ферросплавы). В процессе плавки в жидкую сталь может попасть кислород из воздуха и из загрязненной шихты. Производят его удаление путем раскисления ферромарганцем, фер-

росилищем, алюминием, ферротитаном и выпускают сталь в ковш, т. е. нет периодов кипения, дефосфорации, рафинирования, восстановления.

**Кислый процесс** в электродуговых печах имеет те же особенности, что и кислый процесс в мартеновских печах, т. е. для выплавки используют чистую по сере и фосфору шихту. В качестве флюса используют песок  $\text{SiO}_2$ .

Кислая футеровка обладает значительно большей стойкостью и дешевле основной. Кислые печи применяются главным образом в литейных цехах.

#### **1.4.4.б. Техничко-экономические показатели выплавки стали в электрических дуговых печах**

Эти показатели плавки зависят от емкости печи и технологии плавки. К показателям, характеризующим эффективность электроплавки, относятся: *производительность* – т/сутки на каждые 1000 Вт, *мощность трансформатора*, *расход электроэнергии* на 1 т выплавленной стали и *расход электродов* на тонну стали.

Производительность дуговых печей составляет 12–15 т/кВт сутки. Расход электроэнергии на 1 т стали с увеличением емкости печи уменьшается. Например, для печи емкостью 25 т расход составляет 750 кВт·ч., а для печи емкостью 100 т – 575 кВт·ч. Расход графитизированных электродов составляет 6–9 кг/т выплавленной стали.

#### **Область применения:**

Выплавка в электродуговых печах применяется на металлургических и крупных машиностроительных заводах для всех марок сталей и специальных сплавов, но главным образом – для получения высококачественных легированных сталей и сплавов.

#### **1.4.4.в. Выплавка стали в индукционных печах**

Эти печи являются основными плавильными агрегатами в машиностроении. Они существенно отличаются от дуговых печей способом образования тепла для расплавления металла.

**Индукционная высокочастотная плавильная печь** (рис. 1.8) состоит из огнеупорного плавильного тигля 4 и индуктора 3, имеет съемную крышку 2. Индуктор выполнен в виде катушки из медной трубки, охлаждаемой водой. Ток подается по гибким шинам через печные конденсаторы. Необходимый для питания индукционной печи переменный ток повышенной частоты вырабатывается в машинных или ламповых генераторах (преобразователях). Обычно для индукционных печей (в отличие от закалочных агрегатов ТВЧ) применяются токи невысокой частоты: 500–2500 Гц.



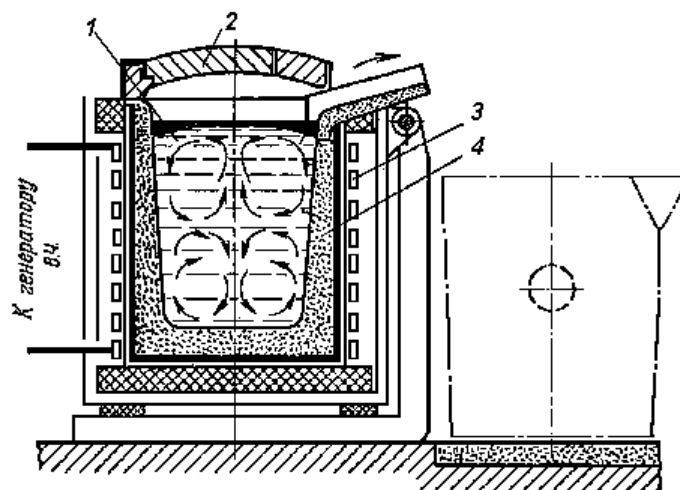


Рис. 1.8. Схема индукционной тигельной электрической плавильной печи

Выплавку стали в этих печах обычно осуществляют методом переплава. Угар легирующих элементов при этом незначителен. При этом тщательно проводят расчет химического состава шихты (количество ферросплавов, химический состав скрапа, угар).

Скрап и ферросплавы загружают одновременно, т. к. плавка протекает быстро и анализы химического состава по ходу плавки не делают. После расплавления металла на его поверхность засыпают флюс. Если футеровка основная, то флюс состоит из извести и плакивого шпата для повышения жидкотекучести шлака. В кислых тиглях применяется бой стекла или  $\text{SiO}_2$ . Для плавки берут только чистую по примесям шихту. Раскисление ферромарганцем, ферросилицием, алюминием производят перед выпуском стали.

Индукционные печи имеют емкость от 10 кг до 10 т.

#### **1.4.4.г. Техничко-экономические показатели плавки в индукционных печах**

Индукционные печи имеют ряд преимуществ перед дуговыми. В них отсутствует электрическая дуга, и, следовательно, нет науглероживания стали за счет электродов, нет перегрева жидкого металла (температура электрической дуги – до 6000 °С). Наличие магнитных потоков способствует хорошему перемешиванию металла по химическому составу. Внутри печи легко создать вакуум или регулируемую атмосферу из газов определенного состава. Недостатком индукционной плавки является высокая стоимость оборудования и низкая металлургическая активность шлака. Шлак нагревается только за счет тепла металлической ванны.

**Применение.** Индукционные печи применяются для выплавки высококачественных специальных легированных сталей и сплавов, особенно сталей с низким содержанием углерода (кислотостойкие нержавеющие стали).



### 1.4.5. Разливка стали на слитки

Выплавленную сталь выпускают из плавильной печи в разливочный ковш. Разливочный ковш состоит из стального кожуха, выложенного огнеупорным материалом, и дозирующего устройства. Ковш имеет емкость от 5 до 500 т стали. Из ковша сталь разливается в *изложницы* (чугунные формы) разного поперечного сечения. Из слитков квадратного сечения получают сортовой прокат (двутавровые балки, швеллеры, уголки, рельсы и т. д.). Слитки прямоугольного сечения прокатывают в листы, слитки круглого сечения идут для производства труб, многогранные – для поковок.

Для разливки кипящей стали применяются изложницы, расширяющиеся книзу (рис. 1.9, а), для разливки спокойной стали – изложницы, расширяющиеся кверху (рис. 1.9, б).

Изложницы для разливки спокойной стали имеют прибыльные надставки 8, футерованные внутри огнеупорной массой 9. Сталь в прибыльной надставке дольше находится в жидком состоянии и питает затвердевающий слиток металлом, благодаря чему уменьшается глубина усадочной раковины, уменьшаются отходы при обрезке его головной части. Размеры изложниц зависят от назначения слитка. Для прокатки применяют слитки весом 200–250 т. Слитки легированных сталей меньше – от 500 кг до 7 т.

Применяют три основных способа разливки стали: в изложницу сверху; в изложницы сифоном; на установках непрерывной разливки.

**В изложницу сверху** (рис. 1.9, а) сталь заливается непосредственно из ковша 1. При разливке сверху исключается расход металла на литники, оборудование простое. Однако при разливке сверху сталь падает в изложницу с большой высоты, брызги металла застывают на стенках изложницы и ухудшают поверхность слитка.

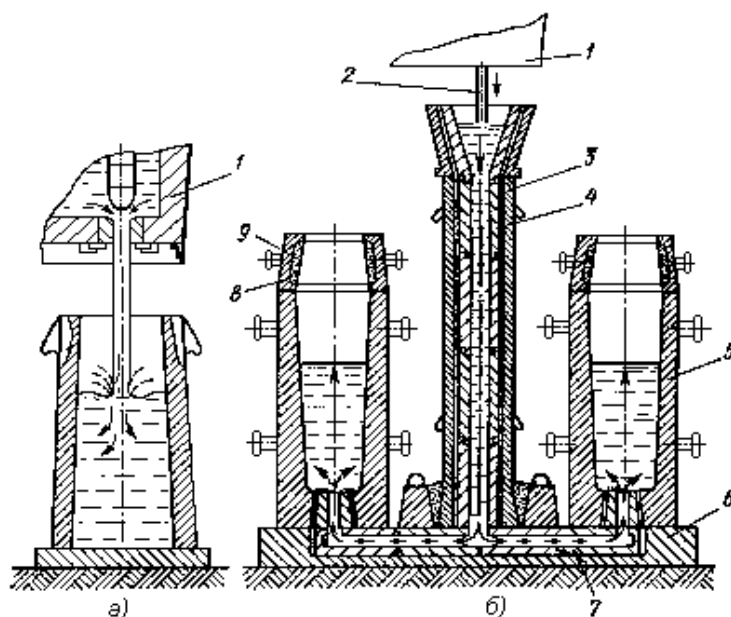


Рис. 1.9. Разливка стали в изложницы: а – сверху; б – сифоном

При **сифонной разливке** (рис. 1.9, б) сталью заполняют одновременно несколько изложниц. Изложницы устанавливают на поддоне 6, в центре которого находится центральный литник 3, футерованный трубками 4. Жидкая сталь 2 из ковша 1 поступает по каналу 7 в нижнюю часть изложницы 5. Этот способ разливки обеспечивает плавное, без брызг заполнение изложниц, поверхность слитка получается чистой, сокращается продолжительность разливки стали. Однако при сифонной разливке повышается трудоемкость подготовки оборудования, увеличивается расход металла на литники.

Для легированных и высококачественных сталей применяется разливка сифоном.

**Непрерывная разливка** стали (рис. 1.10) состоит в том, что жидкую сталь из ковша 1 через промежуточное устройство 2 непрерывно подают в водоохлаждаемый кристаллизатор 3. Из кристаллизатора вытягивают слиток 4 вальцами 5 со скоростью порядка 1 м/мин.

На выходе из кристаллизатора слиток охлаждается струей воды 6 и попадает в зону 7 газовой ацетилено-кислородной резки на мерные заготовки.

При непрерывной разливке слитки не имеют усадочной раковины и поступают на станы сортовой прокатки, минуя блюминги и слябинги.

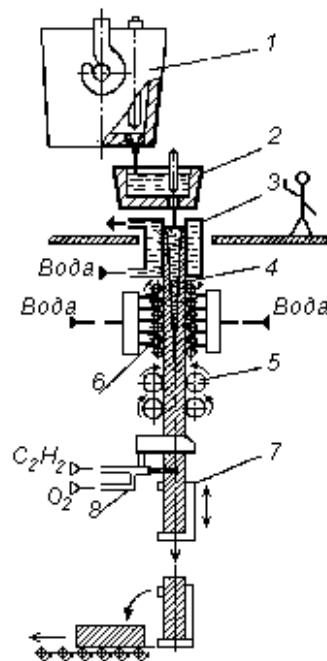


Рис. 1.10. Схема установки для непрерывной разливки стали

#### 1.4.5.а. Техничко-экономические показатели разливки стали

Техничко-экономические показатели разливки стали характеризуются *выходом годного металла*, т. е. отношением массы слитков, передаваемых на прокатку, к массе разлитой стали, *стойкостью изложниц* и *производительностью*, т/ч.

Выход годного металла при разливке спокойной стали составляет около 70 %, кипящей стали – до 80 %. Наибольший выход годного металла – до 98 % – достигается при непрерывной разливке. Стойкость изложниц составляет 100–300 заливок.

#### 1.4.6. Способы повышения качества стали

Технология выплавки стали в любых плавильных агрегатах не позволяет получить высококачественную сталь с низким содержанием газов, вредных примесей и неметаллических включений. Поэтому процесс очистки про-

водят после выпуска металла из печи – в ковше или при повторном переплаве стали.

Наиболее простым способом является **продувка стали** в ковше **инертными газами**, чаще всего аргоном. Проходящие через металл пузырьки аргона адсорбируют неметаллические включения и растворяют в себе водород, азот и кислород, находящиеся в стали.

**Обработка стали синтетическим шлаком** позволяет удалять не только газы и неметаллические включения, но и серу. Специальный синтетический шлак, содержащий до 55 %  $\text{CaO}$ , 40 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , немного  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$ , предварительно расплавляют и заливают в пустой ковш. Затем туда с определенной высоты выпускают сталь. Интенсивное перемешивание стали и шлака резко повышает эффективность металлургических реакций – в сотни раз.

Такой же эффект достигается **продувкой стали порошкообразной шлакообразующей смесью**, состоящей из извести и плавикового шпата. Эффект очистки стали **вакуумированием** основан на уменьшении растворимости газов при снижении давления над зеркалом жидкой стали. Бурно выделяющиеся при этом пузырьки газов увлекают за собой и неметаллические включения. Вакуумирование осуществляют в печи или в ковше, установленных в вакуумных камерах, а также при переливе стали из ковша в ковш.

Эффект повышения качества стали с помощью **повторного переплава** основан на тех же явлениях, что и внепечная обработка жидкой стали, т. е. на очистке жидким шлаком или на явлении вакуумирования. Переплавка ведется на установках, создающих соответствующие условия обработки расплавляемых порций стали. К таким способам относятся: электрошлаковый переплав, переплав в вакуумно-дуговой печи, переплав в электронно-лучевой печи и др.

#### **1.4.6.а. Технико-экономические показатели процесса внепечной обработки стали**

Эффективность переплава оценивается производительностью процесса и расходом электроэнергии на тонну переплавленной стали. Производительность установок для переплава достигает 300–860 кг/час, а расход электроэнергии составляет от 300 до 450 кВт·ч/т.

**Область применения.** Получение высококачественных сталей и сплавов, а также тугоплавких металлов для деталей ответственного назначения, работающих в тяжелых условиях эксплуатации.

### **1.5. Производство цветных металлов**

Разделение металлов на черные и цветные весьма условно. К цветным относятся медь, алюминий, титан и другие металлы. Они занимают после железа главное место в машиностроении.



### 1.5.1. Производство меди

**Медь** по электропроводности уступает лишь серебру и является главным проводником в электро- и радиотехнике, где потребляется 40–50 % выплавляемой меди. Вторая половина меди используется в машиностроении в виде сплавов – латуни и бронзы.

**Медные руды.** Медь встречается в природе главным образом в виде сернистых соединений  $\text{CuS}$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$  и очень редко в виде самородков.

Самые распространенные медные руды – это медный колчедан и медный блеск. Все медные руды являются бедными и обычно содержат 1–2 %  $\text{Cu}$ . Пустая порода состоит из песчаников ( $\text{SiO}_2$ ), сульфидов железа  $\text{FeS}$  (пирит) и т. п.

Медные руды являются комплексными полиметаллическими и содержат, кроме  $\text{Cu}$ , еще никель, цинк, свинец, золото, серебро и другие металлы.

#### 1.5.1.а. Пирометаллургический способ производства меди

Этот способ является главным, т. к. он позволяет извлекать из руд попутно с медью другие драгоценные металлы. Этим способом производят 90 % всей меди.

**Обогащение медных руд** производится методом флотации. Сущность флотации заключается в том, что во флотационной машине через пульпу продувают воздух. Пульпа состоит из воды, тонкоизмельченной руды (размер частиц 0,05–0,5 мм) и специальных реагентов, которые образуют на поверхности металлосодержащих частиц пленку, не смачиваемую водой. К таким частицам легко прилипают пузырьки воздуха. В результате они всплывают на поверхность в виде пены, а пустая порода осаждается на дно.

Пену сушат и получают рудный концентрат, содержащий 10–35 % меди. **Обжиг** производится в вертикальных многоподовых печах (диаметр около 7 м, высота около 10 м), в которых измельченный рудный концентрат постепенно перемещается механическими гребками с верхнего на нижний, второй под, затем на – третий и т. д.

Необходимая температура 850 °С обеспечивается в результате горения серы. Образующийся сернистый газ  $\text{SO}_2$  очищается и направляется на производство серной кислоты. Содержание серы в концентрате снижается вдвое.

**Плавка на штейн** проводится в пламенных печах, работающих на пылевидном (уголь), жидком или газообразном топливе. При плавке обожженного концентрата при температуре 1500–1600 °С образуется первичный штейн, состоящий из сульфида меди  $\text{Cu}_2\text{S}$  (20–60 %  $\text{Cu}$ ), сульфида железа  $\text{FeS}$  (10–60 %  $\text{Fe}$ ) и серы (20–25 %).

**Продувка в конверторе.** Расплавленный штейн из пламенной печи заливают в конвертор и продувают воздухом. В результате получают черновую медь.

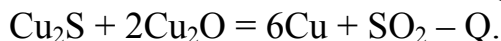


Процесс выплавки черновой меди из штейна делится на два периода. В первом периоде удаляется сернистое железо (FeS):



Образуется белый штейн (в отличие от первичного темного штейна).

Во втором периоде из белого штейна образуется черновая медь окислением сульфида меди:



Таким образом, в конверторе получают черновую медь МК1, содержащую 99 % Cu, остальное – Fe, Ni, Pb и небольшое количество других примесей (Zn, Sb, Au, Ag).

**Рафинирование меди** производят сначала огневым, затем электролитическим способом.

**Огневое рафинирование** ведут в пламенных печах емкостью до 400 т. Сущность огневого рафинирования заключается в окислении продувкой воздухом примесей, имеющих большее сродство к кислороду, чем медь, и в удалении их с газами или в шлак (SbO<sub>2</sub>, PbO, ZnO удаляются с газами, а FeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> – в шлак).

Этот период называется окислительным. Au и Ag не окисляются и растворяются в меди. Во второй период (восстановительный) восстанавливается Cu из Cu<sub>2</sub>O.

Для этого шлак удаляют. На поверхность ванны засыпают древесный уголь (это предохраняет металл от окисления). Затем производят «дразнение» меди. В расплавленный металл погружают сначала сырые, а затем сухие деревянные шесты. В результате образуются пары воды и газообразные углеводороды (CH<sub>4</sub> и др.), они энергично раскисляют медь:



Готовую медь, содержащую 99,7 % Cu, разливают в слитки для проката или в анодные пластины для электролитического рафинирования.

**Электролитическое рафинирование** обеспечивает получение более чистой меди и отделение Au и Ag. Электролит – раствор сернокислой меди CuSO<sub>4</sub> и серной кислоты. Анод является пластиной из рафинированной меди. Катод – тонкий лист (0,5–0,7 мм) из электролитической меди. При пропускании постоянного тока (2–3 В, плотность тока 100–150 А/м<sup>2</sup>) анод растворяется в электролите, и медь осаждается на катоде. Примеси золота и серебра выпадают в осадок.

### 1.5.2. Производство алюминия

**Алюминий** – наиболее распространенный металл в земной коре. Имеет высокую электропроводность (уступает только серебру и меди). Применяется в электротехнике как проводник. В машиностроении алюминий применяется в виде сплавов, например дуралюмин (Al + Cu) – в самолетостроении, силумин (Al + Si) – в дизелестроении.



Основное сырье для получения алюминия – **алюминиевые руды**: бокситы, нефелины, алуниты и каолины. Наибольшее значение имеют бокситы.

Современное производство алюминия состоит из двух основных процессов: получение глинозема  $Al_2O_3$  из алюминиевых руд и получение алюминия путем электролиза расплавленного глинозема. Электролитом при этом служит расплавленный криолит  $Na_3AlF_6$ .

*Получение глинозема щелочным способом* заключается в обработке мелкоразмолотой руды (боксита) щелочью (раствором едкого натрия  $NaOH$ ) в автоклавах при температуре  $250\text{ }^{\circ}C$ . При этом пустая порода выпадает в осадок, а раствор алюмината  $NaAlO_2$  подвергается операции выкручивания с целью получения гидроокиси алюминия  $Al(OH)_3$ .

Кристаллическую гидроокись обжигают в трубчатых печах при температуре  $1200\text{ }^{\circ}C$  для обезвоживания. Гидроокись, теряя воду, превращается в чистый глинозем  $Al_2O_3$ :



Параллельно с получением глинозема идет производство **криолита**  $Na_3AlF_6$ , необходимого для осуществления второй стадии получения алюминия – *электролиза*.

Глинозем и криолит подаются в электролизную ванну (рис. 1.11).

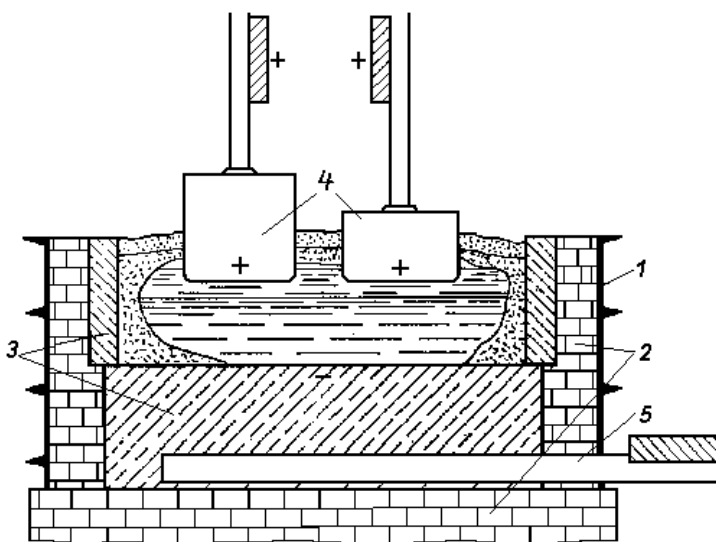


Рис. 1.11. Ванна для электролиза алюминия

Электролизная ванна представляет собой металлический кожух 1, выложенный изнутри теплоизоляционной футеровкой 2. Подина и стены ванны составлены из углеродистых блоков 3. Нижние блоки имеют каналы, в которых проходят катодные шины 5. Аноды представляют собой углеродистые блоки 4, подвешенные на анодных стержнях. Свободными концами аноды опущены в электролит (расплав криолита). Электролизу подвергается раствор глинозема в расплавленном криолите при напряжении 4–4,5 В и плотно-



сти тока 0,7–1,2 А/см<sup>2</sup>. В расплавленном криолите происходит диссоциация молекул глинозема:



Катионы алюминия  $\text{Al}^{3+}$ , разряжаясь на катоде, превращаются в металлический алюминий, который скапливается на дне электролизной ванны и периодически отбирается вакуумным ковшом.

Полученный электролизом первичный алюминий подвергают рафинированию для удаления газов и примесей (железа, кремния и др.). С этой целью алюминий в печи или в ковше продувают газообразным хлором и отстаивают 30–45 минут. Для получения алюминия более высокой чистоты его подвергают электролитическому рафинированию.

#### 1.5.2.а. Техничко-экономические показатели производства алюминия

Техничко-экономические показатели производства алюминия характеризуются *производительностью, затратами электроэнергии и вспомогательных материалов.*

На получение 1 т алюминия затрачивается 2 т глинозема, 0,1 т криолита, до 0,6 т угольных анодов и 16500–18500 кВт·ч электроэнергии.

### 1.6. Порошковая металлургия

Сущность **порошковой металлургии** заключается в том, что из металлического порошка прессуют заготовку, которую затем подвергают спеканию для придания прочности. Металлические порошки состоят из очень мелких частиц (0,5–500 мкм) различных металлов и их окислов.

Операции технологического процесса получения изделий из металлических порошков можно представить в виде следующей схемы:

- производство порошков металлов и других материалов;
- приготовление смеси (смешивание порошков, введение технологических добавок);
- получение промежуточного продукта: формование заготовки из порошка со связкой или без нее путем прессования или прокатки;
- получение прочных изделий (спекание заготовки);
- дополнительная обработка спеченного изделия (механическая обработка, пропитка, термообработка, нанесение покрытий).

**Производство** порошков возможно механическими или физико-химическими методами (табл. 1.1).

При **приготовлении смеси** в металлический порошок вводят различные присадки: пластификаторы (парафин, стеарин и др., облегчающие процесс прессования и формообразования), легкоплавкие присадки (легкоплавкие металлы), различные летучие вещества для получения деталей с заданной пористостью.



**Формование** заготовок и деталей осуществляют прессованием (одностороннее, двухстороннее, гидростатическое прессование) на механических и гидравлических прессах или прокаткой на прокатных станах.

Таблица 1.1

Методы получения металлических порошков

Метод	Характеристика метода	Материалы	Форма и размер частиц, мкм	Примечание
<b>Механические методы</b>				
Размол в шаровых мельницах	Диаметр барабана 250–1500 мм, скорость вращения 30–120 об/мин.	Черные и цветные металлы	Неправильный многогранник, 100–1000	Порошки загрязняются продуктами истирания шаров
Размол в вихревых мельницах	Скорость вращения пропеллера 3000 об/мин.	<b>Fe, Cu, Al, Ag, Ti</b> и их сплавы	Пластины, 50–200	Можно размалывать отходы металлообрабатывающей промышленности
Грануляция	Заливка в воду тонкой струей	Чугун, медь, свинец и др.	Сфероид, 100–300	Применяют для спекания пористых изделий
Виброизмельчение	1400–1500 колебаний/мин.	Хрупкие карбиды, окислы металлов	Неправильный многогранник, 20–60	Износостойкие, твердые изделия
<b>Физико-химические методы</b>				
Восстановление из окислов	Восстановители: углерод и водород	<b>Fe, W, Ti, Mo, Ni, Co</b> и др.	Неправильный многогранник, 50–200	Наиболее дешевый метод. Полученная губка разваливается
Электролиз	Осаждение порошка при электролизе солей металлов	Чистые и редкие металлы	1–100	Можно получать порошки из загрязненных металлов
Карбонильный	При 200–300°C карбонил распадается на порошок металла и оксид углерода	<b>Fe, Ni, Co</b>	Сфероид, 1–800	—
Восстановление гидратом кальция	Химическая реакция	Хром	Дендрит, 8–20	Известь вымывается водой



**Спекание** проводят для повышения прочности предварительно полученных прессованием или прокаткой заготовок. Температура спекания составляет 0,7–0,9 абсолютной температуры плавления наиболее легкоплавкого компонента порошковой смеси. Это так называемое *твердофазное спекание*. Для получения более плотных изделий применяют *жидкофазное спекание*, при котором легкоплавкий компонент расплавляется и пропитывает смесь, скрепляя ее. Для спекания используют электрические печи сопротивления или печи с индукционным нагревом. Для предотвращения окисления спекают в нейтральных или защитных средах.

**Заключительные операции** применяют в случае необходимости. Обработку резанием применяют в тех случаях, когда прессованием нельзя получить детали заданных размеров и форм. При обработке пористых заготовок нельзя применять охлаждающие жидкости, т. к. они впитываются в поры и вызывают коррозию. Пропитывать маслом пористые заготовки перед обработкой резанием также нельзя, т. к. масло начинает гореть, дымить.

При обработке резанием применяют твердосплавный или алмазный инструмент. Для сохранения пористости инструмент должен быть хорошо заточен и подвергнут отделочной обработке (доводке).

Изделия, полученные методом порошковой металлургии, поставляются в виде полуфабрикатов (листов, прутков) или готовых изделий.

Большое применение находят порошковые материалы со специальными свойствами.

**Антифрикционные металлокерамические материалы** применяются для изготовления подшипников скольжения с пористостью 10–35 %. Имеют твердую металлическую основу с порами, заполненными маслом или графитом. Для пористых антифрикционных материалов используют железо-графитовые, железо-медно-графитовые, бронзо-графитовые и т. п. композиции.

**Фрикционные материалы** обладают высоким коэффициентом трения и используются для изготовления тормозных накладок. Коэффициент трения можно повысить добавкой асбеста, карбидов тугоплавких металлов и окислов.

Из **высокопористых материалов** изготавливают фильтры с пористостью до 50 %. Для фильтров применяют порошки нержавеющей стали, алюминия, титана.

Высокопористые материалы изготавливают без прессования, одним спеканием, или прокаткой при производстве пористой ленты.

**Металлокерамические твердые сплавы** применяются для изготовления режущего и бурового инструмента. Основой для изготовления твердых сплавов являются порошки карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC). В качестве связующего вещества применяют кобальт. Наибольшей твердостью характеризуются материалы из карбидов бора (эльбор). При изготовле-





нии алмазного инструмента для связки алмазных порошков применяют металлические порошки (медные, никелевые и др.).

Из *жаропрочных* и *жаростойких материалов* изготавливают детали, работающие при высоких температурах (порошки на основе Ni, Ti, W, Ta и др.).

### 1.6.1. Техничко-экономическое обоснование

Себестоимость порошковых материалов много выше стоимости традиционных материалов; применение ограничивается также возможностью изготовления только изделий простой формы. Но порошковая металлургия позволяет получать материалы и изделия с такими составами, структурами и свойствами, какие невозможно получить традиционными металлургическими методами. Существенным достоинством порошковой металлургии является также ее безотходность и экологическая чистота. Экономическая эффективность изготовления деталей из порошков тем больше, чем больше серийность. В массовом производстве – например в автомобилестроении – широко применяются спеченные конструкционные детали.



## 2. ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сущность литейного производства состоит в получении *отливок* – литых металлических изделий – путем заливки расплавленного металла или сплава в литейную форму.

Первые литые изделия получали еще в III–II тысячелетиях до н. э., сначала из бронзы, позже – из чугуна. Значительное развитие литье из чугуна получило примерно с XIII–XIV вв. Стальные отливки начали получать в XIX в., а литые детали из алюминиевых и магниевых сплавов – всего несколько десятилетий назад.

Значение литейного производства исключительно велико. Нет ни одной отрасли машиностроения и приборостроения, где не применяли бы литые детали. В машиностроении масса литых деталей составляет около 50 % массы машин и механизмов, в станкостроении – около 80 %. Это объясняется рядом преимуществ литейного производства по сравнению с другими способами получения заготовок или готовых изделий. Литьем получают детали как простой, так и очень сложной формы, с фасонными внутренними полостями, которые нельзя или очень трудно получить другими способами. Во многих случаях это наиболее простой и дешевый способ получения изделий. Масса отливок колеблется от нескольких граммов до нескольких сот тонн.

Некоторые специальные способы литья позволяют получать отливки с высокой точностью размеров и чистотой поверхности, что сокращает или исключает совсем их последующую механическую обработку. Кроме “традиционных” литейных сплавов – чугуна, стали, бронзы, – литьем все чаще изготавливают изделия из нержавеющей и жаропрочных сталей, магнитных и других сплавов с особыми физическими свойствами.

### 2.1. Плавильные агрегаты

В литейном производстве для каждого металла требуется своя плавильная печь и технология плавки.

**Плавка чугуна** в литейных цехах производится в основном в вагранках (до 90 % чугунных отливок), а также в индукционных печах. *Вагранка* – это шахтная печь высотой 3–10 м, внутренний диаметр 700–2500 мм, рис. 2.1.

Шахта вагранки опирается на колонны 2, расположенные на фундаменте 1. В нижней части имеется откидная крышка 3. Печь выложена из шамотного кирпича 7, снаружи покрытого металлическим кожухом 8.

Шихтовые материалы (литейный и переплавочный чугун, флюс – известняк, топливо – кокс) загружаются сверху с помощью бадьи 13 через загрузочное окно 10. Чугунные плиты 9 в верхней части шахты предотвращают разрушение футеровки металлическими компонентами шихты. Воздушное дутье для горения кокса подают через фурмы 5 с помощью вентилятора 6. Расплавленный чугун стекает в горн, на под 4 и далее, через летку вагранки 14, –

в копильник 15. Жидкий чугун через летку 17 сливается в ковш 18. Шлак по мере необходимости выпускают через шлаковую летку 16. Печные газы удаляются в трубу 12 с искрогасителем 11.

Иногда для выплавки чугуна применяется *дуплекс-процесс*: плавят чугун в вагранке, а доводку и рафинирование состава производят в индукционной печи. При этом получается чугун высокого качества, а расход электроэнергии снижается.

**Плавка стали** в литейных цехах производится, в основном, в электродуговых и индукционных печах – таких же, какие применяются для выплавки стали в металлургическом производстве. Эти печи отличаются высокой производительностью, в них можно выплавлять любые стали высокого качества. Индукционные печи выпускаются большого диапазона емкостей.

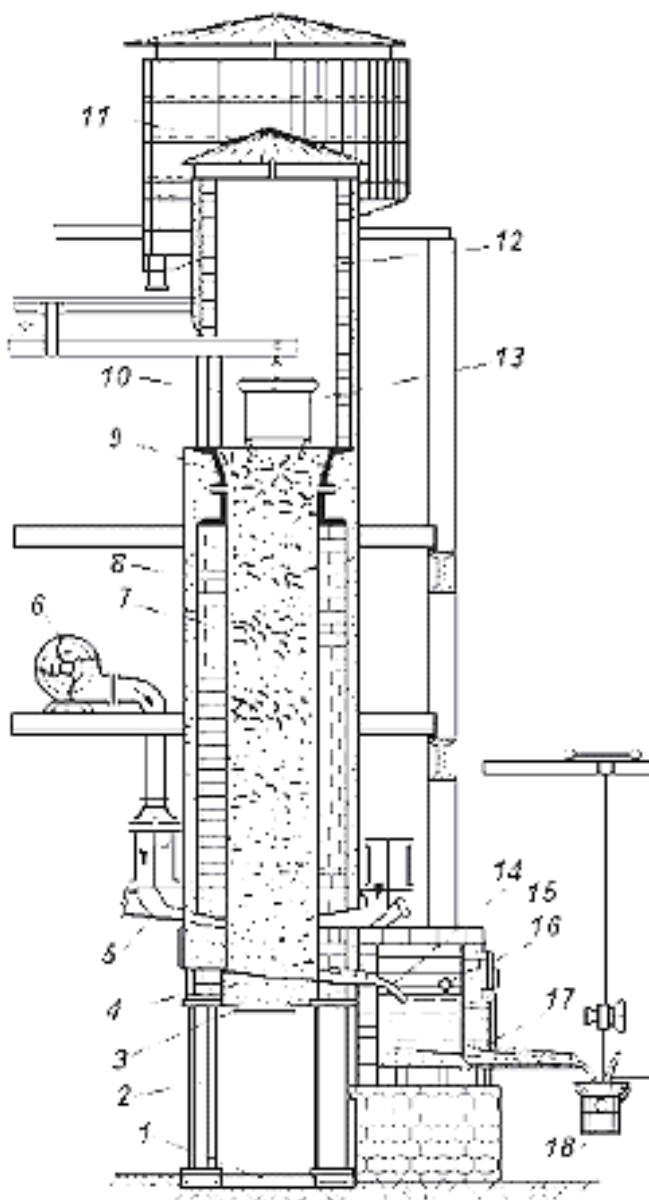


Рис. 2.1. Схема устройства вагранки

**Плавка меди** и ее сплавов производится в электрических печах с косвенной дугой и в индукционных печах с железным сердечником.

В *электрических печах с косвенной дугой* дуга горит между двумя электродами из графитизированной массы, а шихта нагревается за счет излучаемой дугой теплоты.

*Индукционная печь с железным сердечником* показана на рис. 2.2.

Сердечник 1 с первичной обмоткой защищен огнеупорной футеровкой 2. Жидкий металл, предварительно залитый в канал (кольцевой зазор) 3, создает короткозамкнутый вторичный виток, в нем индуцируется ток большой силы, нагревающий металл до высокой температуры. Происходит быстрый нагрев и плавление загружаемой сверху шихты.

В качестве шихты для выплавки бронз и латуней используют чистую медь, лом бронзы и латуни, отходы литейного производства. В качестве флюсов для защиты металла от окисления при плавке применяют: для бронз – соду, криолит, для латуней – песок  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и др.

**Плавка алюминия** и его сплавов производится в электрических печах сопротивления с нагревателями из никрома. В качестве шихты используют чушковый первичный алюминий, металлолом, отходы литейного производства. Для легирования используют алюминиево-кремниевую лигатуру. Плавку ведут под слоем флюсов, состоящих из  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaF}_2$  и других компонентов.

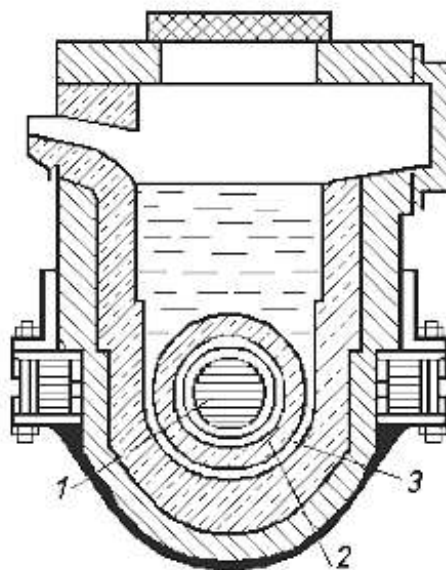


Рис. 2.2. Индукционная печь с железным сердечником

## 2.2. Литейные свойства сплавов

Основными литейными свойствами сплавов являются жидкотекучесть, усадка, склонность к ликвации и поглощению газов.

**Жидкотекучесть** – способность расплава свободно течь в литейной форме, заполняя все ее полости и точно воспроизводя все ее контуры. Жидкотекучесть зависит от химического состава сплава, его температуры при заливке, а также от материала формы и других факторов. Жидкотекучесть выше у сплавов, затвердевающих с образованием эвтектики.

**Усадка** – свойство металлов и сплавов уменьшать свой объем при затвердевании и охлаждении; при этом происходит и соответствующее уменьшение линейных размеров отливки.

Объемная усадка  $\varepsilon_o = [(V_{\text{ф}} - V_{\text{отл}}) \cdot 100\%]: V_{\text{ф}}$ ;

линейная усадка  $\varepsilon_{\text{л}} = [(l_{\text{ф}} - l_{\text{отл}}) \cdot 100\%]: l_{\text{ф}}$ ,

где  $V_{\text{ф}}$  и  $V_{\text{отл}}$ ,  $l_{\text{ф}}$  и  $l_{\text{отл}}$  – объем и размеры соответственно формы и отливки.

В результате объемной усадки в теле отливки могут образоваться усадочные раковины и пористость. Для предупреждения этих дефектов необходимо предусмотреть рациональную литниковую систему и прибыли. Усадку необходимо учитывать при расчете размеров модели и стержня. При наличии препятствий для усадки, а также в результате неодновременной и неравномерной усадки массивных и тонких сечений в отливках возникают напряжения, возможно коробление и образование трещин.



Величина усадки зависит от химического состава сплава, температуры его заливки и других факторов. Небольшую линейную усадку имеет серый чугун (0,8–1,2 %), некоторые литейные алюминиевые сплавы (0,9–1,3 %). У стали линейная усадка достигает 1,8–2,2 %. Объемная усадка примерно в три раза больше линейной.

**Ликвация** – химическая неоднородность затвердевшего сплава. На процесс развития ликвации оказывают влияние химический состав сплава, скорость охлаждения.

**Склонность к поглощению газов.** В расплавленном сплаве всегда находятся в растворенном состоянии газы – водород, азот и др. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, и в результате их выделения в теле отливки могут образоваться газовые раковины и поры.

Растворимость газов зависит от химического состава сплава, его температуры и других факторов. Для уменьшения газонасыщенности сплавов применяют плавку в вакууме или в среде инертных газов, а также дегазацию вакуумированием в специальных камерах и другие меры.

### 2.3. Литье в песчаные формы

Все существующие способы литья разделяются на две группы: литье в песчаные формы и специальные способы литья.

Наибольшая доля отливок получается литьем в **песчаные (песчано-глинистые, земляные) формы** – более 60 %.

Литье в песчаные формы называется еще литьем в разовые формы, т. к. литейная форма служит для отливки только одной детали, после чего разрушается.

На рис. 2.3 приведена литейная форма для получения втулки. Форма состоит из двух полуформ, полученных набивкой (уплотнением) формовочной смеси в металлические рамки – опоки 5 и 6. Для изготовления верхней и нижней полуформ используют разъемную модель 2. Отверстие в отливке получают с помощью стержня 4, отдельно изготовленного из стержневой смеси. При сборке формы стержень устанавливают в углубления (гнезда), образованные в форме формовочными знаками 3 модели. На рис. 2.3 показаны также готовая отливка 9 и процесс заливки расплавленного металла 8.

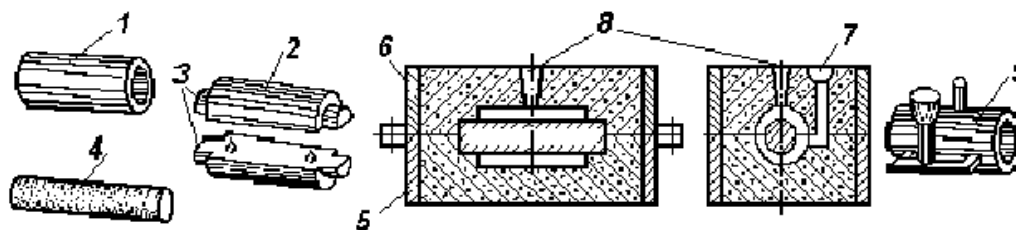


Рис. 2.3. Схема технологического процесса литья в песчано-глинистые формы

Металл заливают через литниковую систему 7. Воздух и выделяющиеся газы удаляются через выпор 8. Готовую отливку 9 извлекают из формы, отрезают литники, очищают поверхность от остатков формовочных материалов и направляют на механическую обработку.

**Литниковые системы** служат для заливки металла в форму. Основными элементами литниковой системы являются литниковая чаша, стояк, шлакоуловитель, питатели, рис. 2.4.

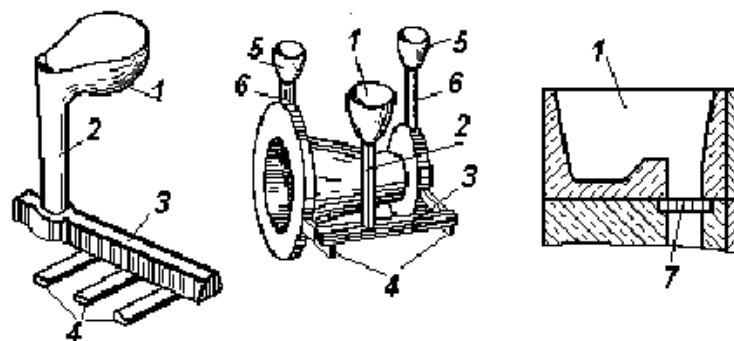


Рис. 2.4. Элементы литниковой системы:

1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатели;  
5, 6 – чаша и стояк выпоров; 7 – фильтр из стеклоткани

Литниковые системы в зависимости от формы, размеров отливки и свойств литейного сплава имеют различное устройство, рис. 2.5.

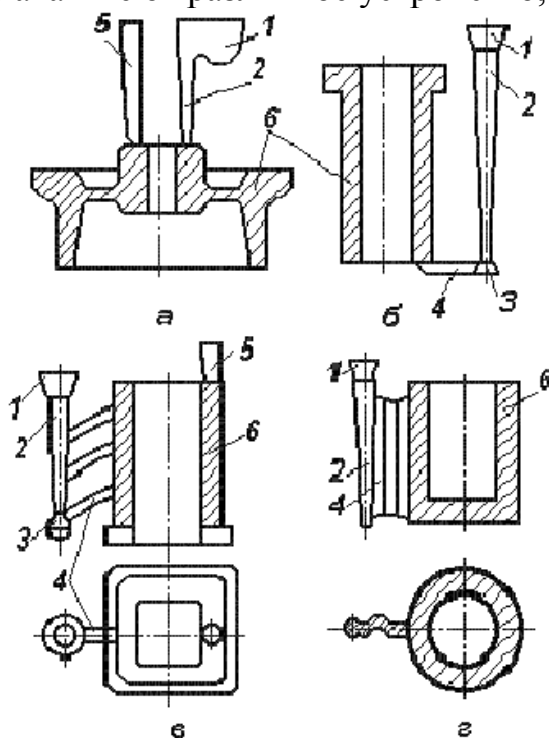


Рис. 2.5. Типы литниковых систем:

а – верхняя; б – сифонная; в – ярусная; г – вертикально-щелевая; 1 – чаша;  
2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатель; 5 – выпор; 6 – отливка



*Верхняя литниковая система* – самая простая, применяется для мелких деталей небольшой высоты.

*Сифонная (нижняя) литниковая система* обеспечивает спокойное заполнение формы расплавом, применяется для средних и толстостенных отливок значительной высоты.

*Ярусная литниковая система* обеспечивает последовательное питание отливки снизу вверх, применяется для крупных отливок.

*Вертикально-целевая литниковая система* – разновидность ярусной, предназначена главным образом для цветных сплавов.

### 2.3.1. Свойства формовочных смесей

Для получения отливок высокого качества формовочные и стержневые смеси, из которых делают разовые литейные формы, должны обладать определенными технологическими свойствами.

**Прочность** – способность смеси обеспечивать сохранность формы, без разрушения выдерживать давление заливаемого металла.

**Пластичность** – способность формовочной смеси воспринимать очертания модели.

Термическая устойчивость или **непригораемость** – способность смеси выдерживать высокую температуру заливаемого сплава без химического с ним взаимодействия или оплавления смеси.

**Газопроницаемость** – способность пропускать газы через стенки формы вследствие пористости. Это одно из важнейших свойств формовочных смесей. В расплавленном металле всегда содержатся растворимые газы, выделяющиеся при его охлаждении. Большое количество газов выделяется также из самих формовочных материалов при их нагреве. При недостаточной газопроницаемости в теле отливки могут образовываться газовые пузыри (поры).

*Песчано-глинистые смеси* состоят из наполнителя, связующего и различных добавок. Наполнителем является песок и бывшие в употреблении смеси. Связующее – глина (до 10–15 %). Для улучшения свойств формовочной смеси вводят специальные добавки. Так, для чугунного литья в качестве противопригарного компонента вводится каменноугольная пыль. В смесях для стального литья в качестве противопригарной добавки используют пылевидный кварц.

При заливке металла стержни находятся в более тяжелых условиях, испытывая значительное термическое и механическое воздействие расплавленного металла. Поэтому к стержневым смесям предъявляют более высокие требования по прочности. С этой целью в стержневые смеси добавляют в качестве связующих растворы растительных масел и канифоли в уайт-спирите, силикатные клеи и другие материалы.

Приготовление песчано-глинистых смесей включает несколько операций: сушка песка и глины (при температуре 200–250 °С), размол угольного и квар-

цевого порошка, перемешивание компонентов и увлажнение. Для выполнения этих операций требуются специальные сушильные печи и смесители.

### 2.3.2. Ручная формовка

Ручная формовка – главный способ изготовления форм в литейном производстве, связана с тяжелой и трудоемкой работой. Наиболее распространенный способ ручной формовки в двух опоках показан на рис. 2.3. Применяется в производстве мелких и средних отливок в единичном и мелкосерийном производстве.

### 2.3.3. Машинная формовка

Машинная формовка применяется в массовом и крупносерийном производстве. Машинная формовка во много раз увеличивает производительность труда, облегчает условия работы.

По характеру уплотнения смеси различают несколько способов машинной формовки.

**Уплотнение прессованием** показано на рис. 2.6.

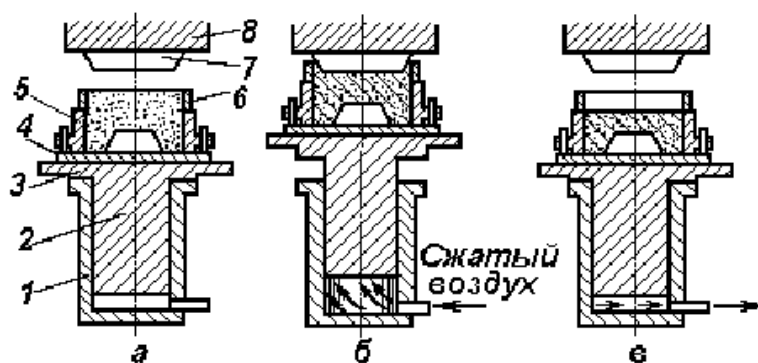


Рис. 2.6. Схема машинной формовки прессованием

Сжатый воздух подается в нижнюю часть цилиндра 1, при этом прессовый поршень 2 и стол 3 с прикрепленной к нему модельной плитой 4 поднимаются (рис. 2.6, а). Колодка 7, закрепленная на траверсе 8, входит внутрь наполнительной рамки 6 (рис. 2.6, б) и уплотняет формовочную смесь в опоке 5 (рис. 2.6, в). Плотность формовочной смеси уменьшается по мере удаления от прессовой колодки из-за трения смеси о стенки опоки. Поэтому прессование используют для уплотнения смеси в опоках высотой не более 200–250 мм.

**Уплотнение встряхиванием** (рис. 2.7) производится на специальных встряхивающих машинах и позволяет уплотнять высокие, сложной конфигурации формы.



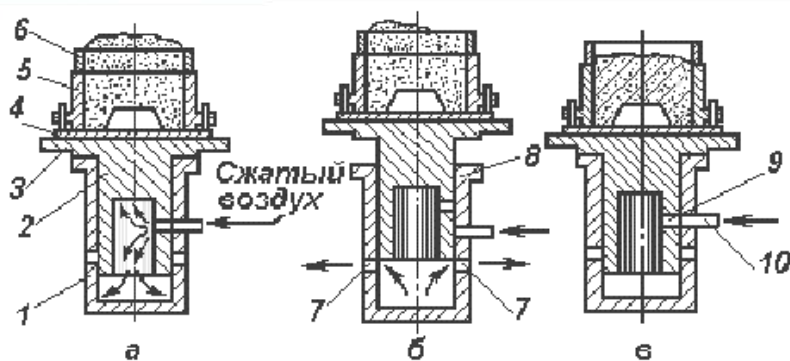


Рис. 2.7. Схема машинной формовки встряхиванием

Сжатый воздух подается в нижнюю часть цилиндра 1 (рис. 2.7, а), при этом встряхивающий поршень 2 поднимается и перекрывает впускное отверстие 10, а нижняя его кромка открывает выпускные окна 7 (рис. 2.7, б). Воздух выходит в атмосферу, давление под поршнем снижается, и стол 3 с укрепленной на нем модельной плитой 4 падает, ударяясь о торец цилиндра 8 (рис. 2.7, в). Скорость стола и модельной плиты падает до нуля, а формовочная смесь в опочке 5 и наполнительной рамке 6 продолжает двигаться вниз по инерции и поэтому уплотняется. Когда канал 9 встряхивающего поршня окажется против отверстия 10, сжатый воздух снова войдет в полость цилиндра. Это повлечет новый подъем стола и новый удар его о торец и т. д.

Встряхивающий стол совершает 120–200 ударов в минуту. При этом способе слои формовочной смеси будут иметь наибольшую плотность у модельной плиты. Встряхиванием уплотняют формы высотой до 800 мм. Для уплотнения верхних слоев формы встряхивание совмещают с прессованием.

Для уплотнения смеси при получении крупных отливок применяются **пескометы** (рис. 2.8). Рабочий орган пескомета – метательная головка – выбрасывает порции формовочной смеси на рабочую поверхность модельной плиты. В стальном кожухе 1 метательной головки вращается закрепленный на валу электродвигателя ротор 4 с ковшем 5. Формовочная смесь подается в головку непрерывно ленточным конвейером 3 через окно в задней стенке кожуха. При вращении ковша со скоростью 1000–1200 об/мин формовочная смесь собирается в пакеты 5 и центробежной силой выбрасывается через выходное отверстие в опочку 6. Попадая на модель 7 и модельную плиту 8, смесь за счет кинетической энергии равномерно уплотняется по высоте опочки. Метательная головка может перемещаться над опочкой, управление работой пескомета автоматизировано. Пескомет – высокопроизводительная машина, его применяют для уплотнения крупных литейных форм.

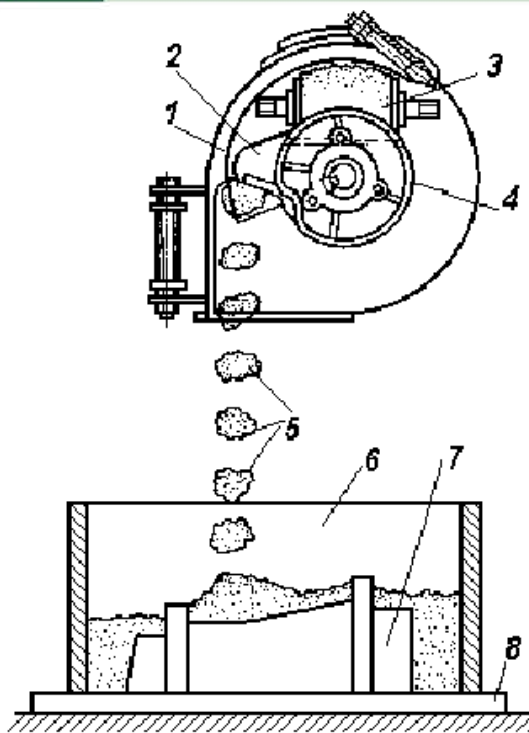


Рис. 2.8. Схема уплотнения форм пескометом

#### 2.3.4. Техничко-экономическое обоснование литья в песчано-глинистые формы

**Преимуществом** литья в земляные формы является универсальность способа. Этим способом получают отливки любой конфигурации, из любых металлов и любой массы. Формовочные материалы недефицитны и дешевы.

**Недостатки способа:** грубая поверхность отливки, большой припуск на механическую обработку, большой расход металла на литники, очень низкие санитарно-гигиенические условия труда.

**Применяется** способ в индивидуальном и массовом производстве во всех отраслях промышленности.

#### 2.4. Специальные способы литья

В современном литейном производстве все более широкое применение получают специальные способы литья. Эти способы позволяют получать отливки повышенной точности и с чистой поверхностью, часто не требующие механической обработки, чего нельзя добиться при литье в песчаные формы. Кроме того, некоторые из специальных способов литья обеспечивают значительно более высокую культуру труда, лучшие санитарно-гигиенические условия и более высокий уровень механизации и автоматизации, чем литье в песчаные формы.

### 2.4.1. Литье в оболочковые формы

Отливки получают в тонкостенных формах-оболочках толщиной 6–15 мм, изготовленных из высокопрочных песчано-смоляных смесей.

Смесь состоит из кварцевого песка и 6–7 % синтетической смолы в виде порошка. Фенолформальдегидная смола при 70 °С размягчается, а при температуре свыше 120 °С плавится, превращаясь в клейкую массу.

При температуре 200–300 °С смола становится твердой и при повторном нагреве не расплавляется. При 450 °С смола выгорает. На этих свойствах смолы основана технология изготовления оболочковой литейной формы, рис. 2.9.

Формовочную смесь 3 засыпают в бункер 2 (рис. 2.9, а) и накрывают нагретой металлической плитой 1 с укрепленными на ней моделями отливок. При повороте бункера на 180 ° (рис. 2.9, б) частицы смолы начинают плавиться под действием тепла нагретых моделей. Образуется оболочка 4. Толщина этой оболочки зависит от температуры подмодельной плиты и времени ее выдержки под засыпкой.

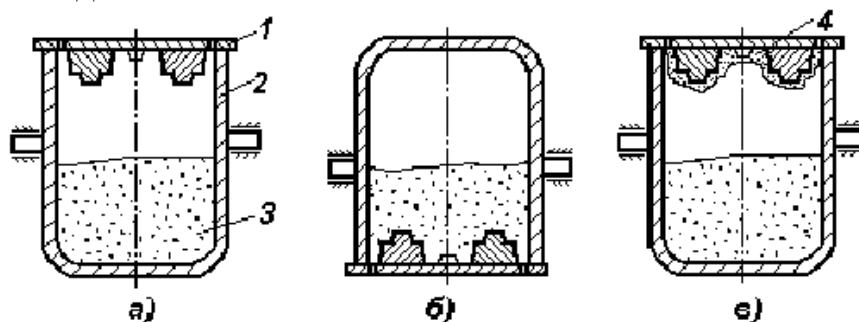


Рис. 2.9. Последовательность изготовления оболочковой формы

Через 25 с толщина оболочки достигает 6–8 мм, после чего бункер возвращают в исходное положение. Плита при этом оказывается сверху, избыток смеси, состоящей из песка и оставшейся неоплавленной смолы, осыпается на дно бункера (рис. 2.9, в). Модельную плиту вместе с оболочкой снимают с бункера и помещают в электропечь или газовую печь для полного затвердевания оболочки. Через 4 мин. плиту вынимают из печи, укладывают на стол специального съемочного механизма и с помощью толкателей, проходящих через отверстия в плите и упирающихся в оболочку, отделяют оболочку от плиты и поднимают ее. С толкателей оболочка снимается и направляется на сборку. Две половины оболочки склеивают и соединяют скобой. Полученную оболочковую форму заливают сплавом в вертикальном или горизонтальном положении через литниковую систему. Оболочковая форма из песчано-смоляной смеси после заливки металлом легко разрушается, освобождая отливку.

Для крупных отливок из-за опасности прорыва металла во время заливки оболочковые формы помещают в опоку и засыпают чугуной дробью. В промышленности внедрены многопозиционные карусельные автоматы для изготовления оболочковых форм.

#### 2.4.1.а. Техничко-экономическое обоснование литья в оболочковые формы

**Преимущества.** Литье отличается высокой чистотой поверхности и точностью размеров. Хорошая газопроницаемость формы обеспечивает отсутствие газовых пор. Легко удаляются отливки из формы, т. к. при выгорании смолы создается тонкая газовая рубашка, которая защищает поверхность отливки от пригара смеси. Форма легко разрушается. Расход формовочной смеси в 5–10 раз меньше, чем при литье в земляные формы.

**Недостатком** способа является дороговизна и дефицит эпоксидной смолы, а также ограничение размера и массы отливок.

**Применяется** способ для отливки чугунных коленчатых валов автомобилей, чугунных ребристых цилиндров для тяжелых мотоциклов, литого режущего инструмента и других отливок.

#### 2.4.2. Литье по выплавляемым моделям

Этим способом изготавливали литые скульптуры много столетий назад. В машиностроении его начали применять в 40-х годах нашего века. На рис. 2.10 приведена схема технологического процесса изготовления литейной формы по методу выплавляемых моделей.

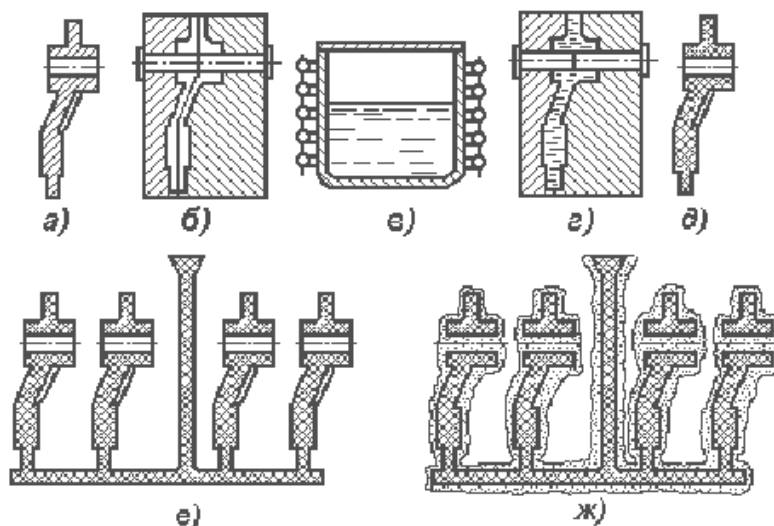


Рис. 2.10. Изготовление литейной формы методом выплавляемых моделей

Пресс-форму (рис. 2.10, б) для получения выплавляемых моделей отливки (рис. 2.10, а) изготавливают металлической или пластмассовой. Легкоплавкую смесь (50 % парафина и 50 % стеарина) расплавляют в электрической печи (рис. 2.10, в) и заливают в пресс-форму (рис. 2.10, г).

После затвердевания легкоплавкую модель (рис. 2.10, д) вынимают из пресс-формы, собирают модели в блоки с общей литниковой системой (рис. 2.10, е) и погружают блок в огнеупорную суспензию, состоящую из 30 % гидролизованного раствора этилсиликата (обладает большой клейкостью) и 70 % кварцевой муки. Затем блок моделей посыпают сухим песком и сушат





на воздухе. Повторяя эти операции несколько раз, получают форму толщиной 5–8 мм (рис. 2.10, ж).

Модель выплавляется из формы с помощью горячего воздуха, пара при 120–150 °С или горячей воды. Для крупных отливок облицованную и просушенную форму с литниковой системой помещают в металлический жакет, засыпают песком и уплотняют или засыпают металлической дробью.

Готовую форму прокаливают до температуры 850–900 °С, при которой остатки легкоплавкого состава выгорают. Форма при этом превращается в прочную керамическую оболочку.

Форму заливают расплавом. При необходимости расплав подают в форму под действием центробежных сил.

После затвердевания металла блоки отливок выбивают из опок. Керамическую корку отбивают. Для удаления керамической корки из отверстий и внутренних каналов отливки выщелачивают при 120 °С в ванне с щелочным раствором, затем промывают их в горячей воде. После контроля отливок отрезают литники и зачищают их остатки. На многих заводах при литье по выплавляемым моделям все процессы изготовления отливок механизированы и автоматизированы.

В промышленности применяют следующие способы получения точных отливок: литьем по выжигаемым, растворяемым, размораживаемым и по газифицируемым моделям. Все это – разновидности способа литья по выплавляемым моделям. Наиболее перспективным из них является способ с применением моделей из пенопласта (пенополистирола) или, как его называют, **литье по газифицируемым моделям**.

Особенность литья по пенопластовым моделям – применение неразъемных форм, из которых модель не извлекается, а газифицируется за счет теплоты расплавленного металла. Таким способом получают отливки массой от 0,2 кг до нескольких тонн из стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов в единичном и серийном производстве.

Пенополистирол, из которого изготавливают модели, имеет малую плотность, разлагается при 300–350 °С, выделяя пары стирола, легко обрабатывается даже простым ножом и разогретой проволокой.

В единичном производстве пенопластовые модели изготавливают механической обработкой вручную или на станках.

Экономическая эффективность способа особенно значительна в производстве крупных сложных отливок.

#### **2.4.2.а. Техничко-экономическое обоснование литья по выплавляемым моделям**

**Преимущества.** Отсутствие у формы разъема обеспечивает повышенную точность. Важным преимуществом способа является возможность получения отливок самой сложной конфигурации практически из любых сплавов.

Высокая точность и чистота отливки позволяет исключить механическую обработку.

**Недостатком** способа является длительный технологический процесс и высокая стоимость отливки.

**Применяется** способ в массовом и серийном производстве. Способ незаменим при изготовлении отливок из труднообрабатываемых сплавов (жаропрочных, магнитных, инструментальных), лопаток реактивных двигателей, челноков швейных машин и т. п.

### 2.4.3. Литье в металлические формы

Металлические формы (*кокили*) изготавливают из чугуна, стали и других сплавов. В кокилях получают 45 % всех алюминиевых и магниевых отливок, 11 % чугунных отливок, 6 % стальных отливок.

Конструкции кокилей очень разнообразны, они могут быть неразъемными и разъемными, но чаще всего кокиль изготавливают из двух половин. Плоскость разъема может быть вертикальной и горизонтальной. Внутренняя, рабочая часть кокиля соответствует внешней конфигурации отливки. После затвердевания металла кокиль раскрывают и из него вынимают отливку.

Чтобы уменьшить скорость охлаждения отливок, избежать образования закаленного слоя и повысить стойкость кокиля, на его внутреннюю поверхность наносят теплоизоляционные, противопригарные покрытия. Их готовят из огнеупорных материалов (кварцевой муки, молотого шамота, графита, мела, талька и др.) и связующего материала (жидкого стекла, сульфитного щелока и др.). После нанесения покрытия кокиль подвергается подсушке и прокалке.

В зависимости от толщины и свойств применяемых покрытий кокили подразделяются на кокили с *тонкослойным покрытием* толщиной до 0,5 мм (для цветных металлов) и кокили *футерованные* с толщиной покрытия до 10 мм (для крупных отливок из чугуна и стали).

Технологический процесс изготовления отливки в кокиле показан на рис. 2.11. Кокиль с вертикальным разъемом состоит из поддона 1, двух симметричных полуформ 2 и 3 и металлического стержня 4. Кокиль предварительно нагревают до температуры 150–180 °С, покрывают рабочую поверхность из пульверизатора 5 слоем защитного покрытия толщиной 0,3–0,8 мм (рис. 2.11, а). С помощью манипулятора устанавливают песчаный стержень 6 (рис. 2.11, б) для получения расширяющейся полости в отливке. Половины 2 и 3 кокиля соединяют, скрепляют и заливают расплав (рис. 2.11, в). После затвердевания отливки 7 (рис. 2.11, г) и охлаждения ее до температуры выбивки кокиль раскрывают (рис. 2.11, д) и протягивают вниз металлический стержень 4. Отливка 7 удаляется из кокиля (рис. 2.11, е).

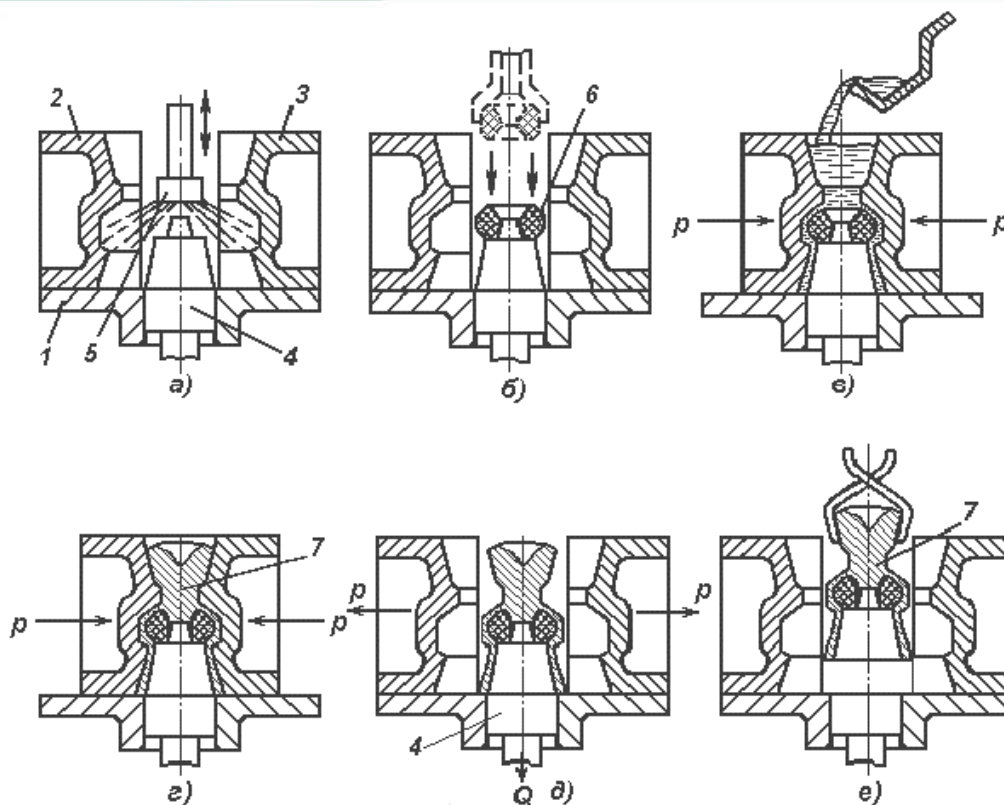


Рис. 2.11. Последовательность операций изготовления отливок в кокилях

Полости в отливках оформляют песчаными, оболочковыми или металлическими стержнями. Песчаные стержни используют для получения отливок из чугуна, стали и цветных сплавов, а металлические – для получения отливок из алюминия и магния.

Для литья в кокиль применяют одно- и многопозиционные автоматические кокильные машины.

#### 2.4.3.а. Техничко-экономическое обоснование литья в металлические формы

Кокиль – форма многократного использования. В нем можно получать до 300 стальных отливок, несколько тысяч отливок из алюминиевых сплавов.

**Преимущества.** Кокиль обеспечивает получение отливок с высоким качеством металла, повышенной точностью и чистотой поверхности. При этом способе улучшаются санитарно-гигиенические условия труда, есть возможность полной автоматизации процесса.

К **недостаткам** способа относятся высокая стоимость кокиля и трудоемкость его изготовления. Можно отливать детали только относительно простой конфигурации. При литье в металлические формы из-за быстрого охлаждения уменьшается жидкотекучесть расплава. Возможно возникновение газовой пористости из-за отсутствия газопроницаемости формы.

Литье в металлические формы **применяется** и как самостоятельный способ, и в других способах литья (литье под давлением, центробежное литье).



Кокили применяют, в основном, для получения отливок из цветных металлов и сплавов, реже – из стали и чугуна.

#### 2.4.4. Литье под давлением

Литье под давлением – наиболее производительный способ изготовления отливок из цветных металлов с высокой точностью и чистотой поверхности. Расплавленный металл заполняет стальную пресс-форму под давлением поршня до 3000 атм., быстро затвердевает и образует отливку.

Наибольшее распространение получили машины с холодной и горячей камерой прессования.

**Машина с холодной камерой прессования** показана на рис. 2.12. Дозу расплавленного металла заливают в горизонтальную камеру прессования 1 и подают поршнем 2 в пресс-форму, состоящую из двух полуформ: подвижной 3 и неподвижной 4. Для образования полости в отливке применяют металлический стержень 5. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается, и отливка удаляется при помощи толкателей 6. Давление поршня на жидкий металл составляет от 400 до 2000 кгс/см<sup>2</sup>, масса отливок – до 45 кг.

Поршневые **машины с горячей камерой прессования** (рис. 2.13) развивают давление на металл 100–300 кгс/см<sup>2</sup>. Особенность их устройства состоит в том, что камеру прессования 1 располагают в обогреваемом тигле с жидким металлом. При верхнем положении плунжера через отверстия 2 сплав заполняет камеру. При движении плунжера 3 вниз он перекрывает эти отверстия, сплав под давлением заполняет полость

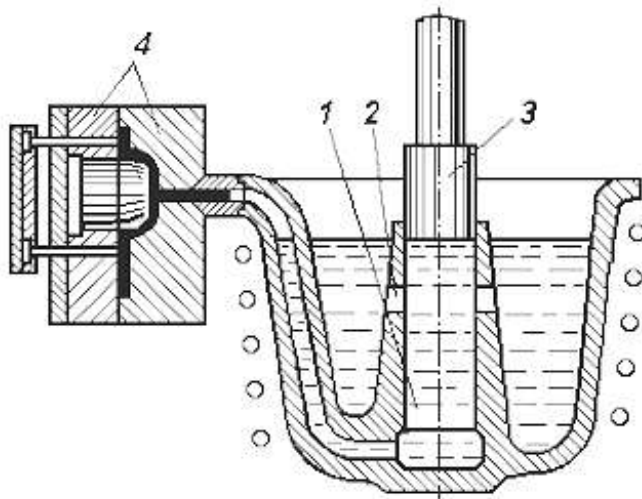


Рис. 2.13. Машина с горячей камерой прессования

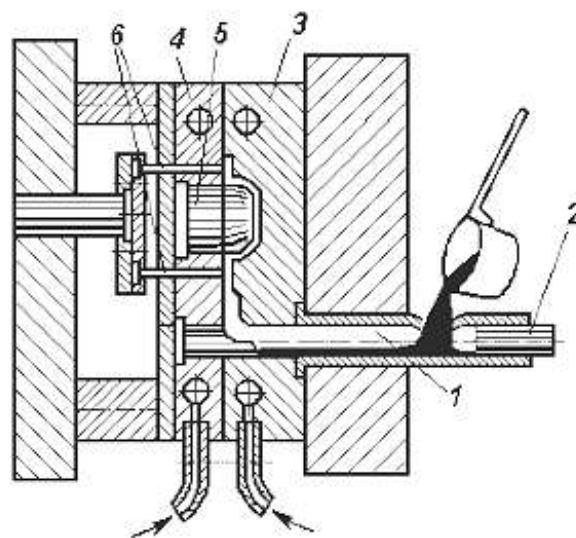


Рис. 2.12. Схема машины с холодной камерой прессования





пресс-формы 4. После затвердевания отливки плунжер возвращается в исходное положение, остатки металла из канала сливаются в камеру прессования. Отливка удаляется из пресс-формы толкателями.

Такие машины применяют для литья из свинцово-сурьмянистых, цинковых, магниевых и алюминиевых сплавов с невысокой температурой плавления, не взаимодействующих с материалами тигля и камеры прессования.

Благодаря малому охлаждению сплава при заполнении пресс-формы на таких машинах можно производить очень мелкие детали – массой до нескольких граммов. Обычно масса отливок не превышает 25–30 кг. Машины имеют очень высокую производительность – до 3000 и более отливок в час при работе в автоматическом режиме.

**Особенности формирования отливок.** При литье под давлением расплав заполняет пресс-форму с очень большой скоростью (за доли секунды). При этом происходит быстрое закупоривание вентиляционных каналов пресс-формы, и из ее полости не полностью удаляются воздух и газы, образующиеся при испарении и сгорании смазки. В затвердевшей отливке появляется газовая пористость.

#### 2.4.4.а. Техничко-экономическое обоснование литья под давлением

**Преимущества.** Это самый высокопроизводительный способ литья (до 3000 и более отливок в час). Дает высокую точность и чистоту поверхности отливки. Высокая степень автоматизации процесса позволяет встраивать участок для литья под давлением в автоматические линии.

**Недостатками** способа являются высокая стоимость оборудования и пресс-форм, ограниченная масса отливок, газоусадочная пористость отливок.

**Применяется** способ в массовом производстве для отливки корпусов электродвигателей из силумина, блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания, а также для литья из других цветных сплавов.

#### 2.4.5. Центробежное литье

При этом способе отливки получают свободной заливкой во вращающиеся формы. Отливки формируются под действием центробежных сил. Центробежные силы отбрасывают заливаемый металл к стенкам формы, где он затвердевает, образуя пустотелую отливку. Центробежным литьем в промышленности получают чугунные и стальные трубы, кольца и другие отливки типа тел вращения.

При этом способе литья исключается применение стержней для образования полостей в цилиндрических отливках. Отливки отличаются большой плотностью и высокими механическими свойствами. Центробежным литьем можно получать тонкостенные отливки из сплавов с низкой жидкотекучестью.

К недостаткам центробежного литья относится трудность получения качественных отливок из сплавов, склонных к ликвации, и невозможность вы-

полнения отверстий точных размеров. Размеры отверстий отливок, изготавливаемых этим способом, зависят от количества залитого в форму металла.

Формы приводят во вращение специальными машинами, называемыми центробежными. В зависимости от расположения оси вращения формы в пространстве различают машины с горизонтальной и вертикальной осями вращения.

На машинах с горизонтальной осью вращения отливки получают со стенками равномерной толщины по длине и в поперечном сечении. На них отливают короткие и длинные трубообразные отливки.

На рис. 2.14. изображена схема **машины с горизонтальной осью вращения** форм для изготовления труб. Металл из ковша 4 заливают в форму 2 через желоб 3. Попадая на внутреннюю стенку вращающейся формы 2, жидкий металл образует вокруг нее полуцилиндрическую отливку 5, которую после затвердевания извлекают из формы.

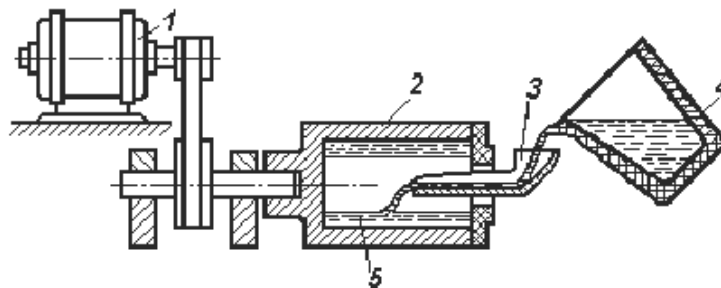


Рис. 2.14. Центробежная машина с горизонтальной осью вращения

В **машинах с вертикальной осью вращения** (рис. 2.15) металл из ковша 1 заливают в форму 2, укрепленную на шпинделе 3, который вращается от электродвигателя.

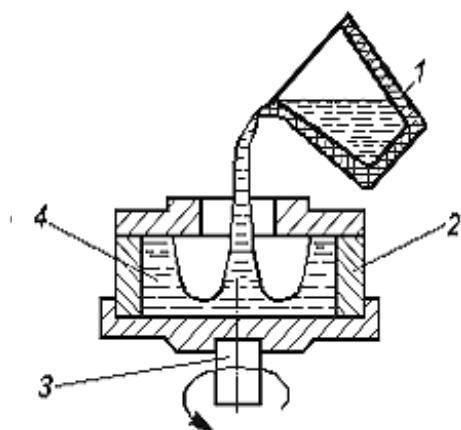


Рис. 2.15. Схема центробежной машины с вертикальной осью вращения

Металл центробежной силой прижимается к боковой цилиндрической стенке, образуя возле нее жидкий кольцевой слой 4. Форма вращается до полного затвердевания металла, после чего ее останавливают и извлекают отливку.

При вертикальной оси вращения формы отливки имеют параболическую внутреннюю поверхность. Толщина верхней части отливки меньше, чем нижней части, так как при вращении формы часть металла стекает вниз. Этим методом литья получают отливки небольшой высоты.

#### 2.4.5.а. Техничко-экономическое обоснование центробежного литья

**Преимуществом** способа является возможность получения пустотелых отливок без применения стержней, получение плотной и мелкозернистой структуры.

**Недостатком** способа является высокая стоимость оборудования.

**Применяется** способ для отливки труб, колец, гильз из стали, чугуна и других сплавов.

#### 2.4.6. Другие способы литья

**Непрерывное литье** показано на рис. 2.16. Жидкий металл, поступающий из тигля 1, быстро затвердевает в водоохлаждаемом кристаллизаторе 2 и образует непрерывную заготовку 3, которую вытягивают с определенной скоростью тянущими роликами 4 и разрезают дисковой пилой 5 на куски.

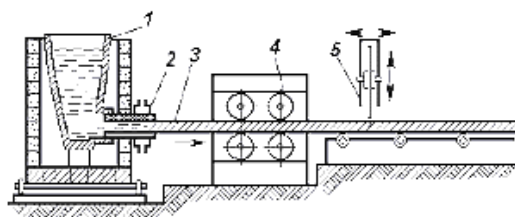


Рис. 2.16. Схема установки непрерывного литья

Этим способом получают отливки с параллельными образующими из чугуна, медных, алюминиевых и других сплавов (рис. 2.17).

**Преимущество:** благодаря направленному затвердеванию сплава отливки не имеют неметаллических включений, усадочных раковин и пористости.

**Литье выжиманием** (рис. 2.18) применяют для получения тонкостенных крупногабаритных отливок типа панелей размерами до 1000–2500 мм с толщиной стенки 2–5 мм из алюминиевых и магниевых сплавов. При повороте подвижной полуформы 1 залитый между полуформами жидкий металл заполняет полость 2 формы, его излишек выжимается в приемный ковш 3. Приведенная на схеме установка имеет угловое перемещение подвижной полуформы, существуют также установки с плоскопараллельным перемещением подвижной полуформы, те и другие автоматизированы.

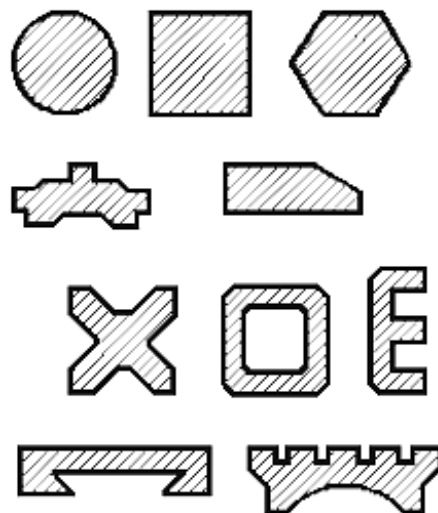


Рис. 2.17. Образцы отливок, полученных непрерывным литьем

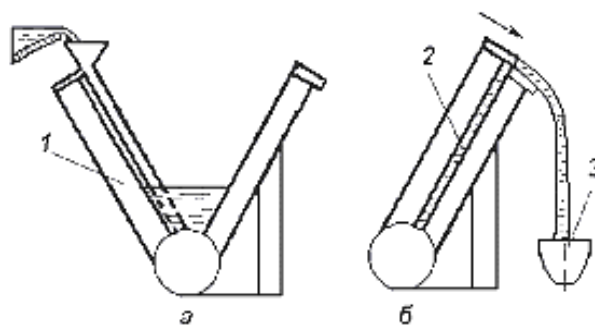


Рис. 2.18. Схема литья выжиманием

**Литье вакуумным всасыванием** (рис. 2.19). Водоохлаждаемая литейная форма 3, опирающаяся на керамический поплавок 2, заполняется расплавленным металлом из раздаточной печи 1 за счет разрежения, создаваемого в форме вакуумным насосом. Во время непродолжительной выдержки формируется отливка 4. Затем полость формы соединяется с атмосферой, и незатвердевший металл сливается обратно в печь.

Способ применяется для получения втулок, вкладышей подшипников скольжения и других отливок простой формы из дорогих и дефицитных бронз и латуней.

Преимущество – получение качественных отливок без расхода металла на литники и прибыли.

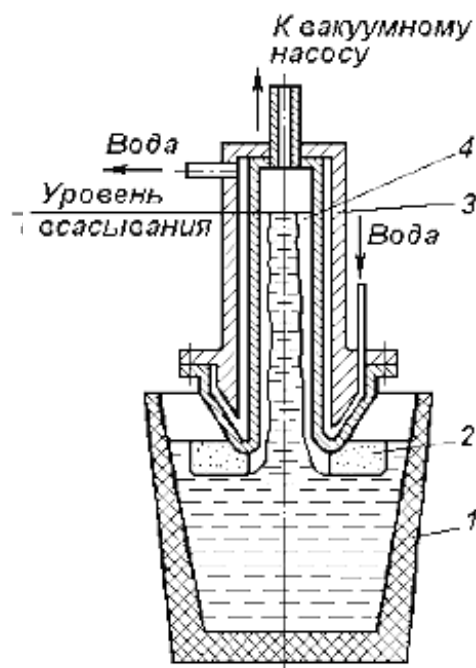


Рис. 2.19. Схема литья вакуумным всасыванием

**Литье намораживанием** (рис. 2.20, а). Суть способа в том, что образование отливки происходит в результате последовательного затвердевания металла – его “намораживания” на затравку.

На поверхность жидкого металла 1 помещают керамический поплавок 2 с отверстием, соответствующим сечению отливки. В мениск выступающего из отверстия металла вводят затравку 4. При ее подъеме из отверстия поплавок за счет сил поверхностного натяжения постепенно вытягивается жидкий металл, затвердевающий (“намораживающийся”) и образующий отливку 3. Скорость вытягивания изделия должна быть точно согласована со скоростью охлаждения и затвердевания металла.



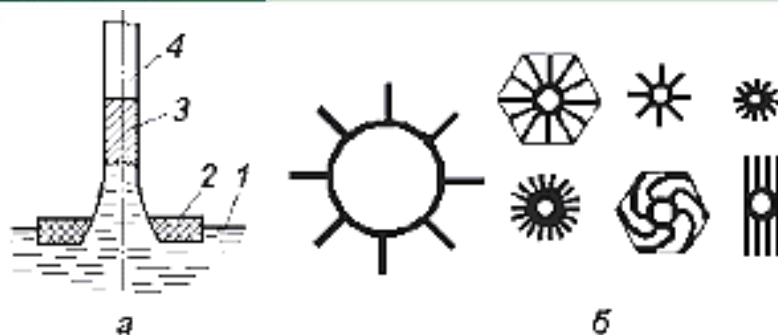
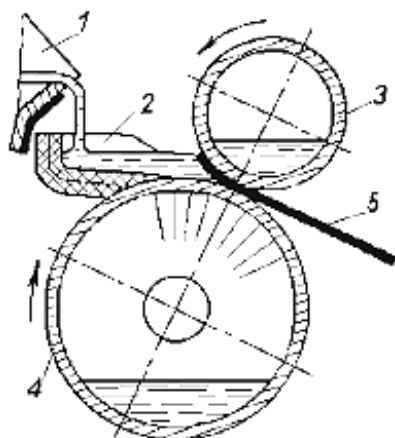


Рис. 2.20. Схема литья намораживанием (а) и примеры сечений отливок, полученных намораживанием из расплава (б)

Способ применяется для получения лент шириной 100 мм и более, труб с внутренними и наружными ребрами и других изделий сложного профиля из алюминиевых сплавов (рис. 2.20, б).

**Жидкая прокатка** (рис. 2.21) – это совмещенный способ литья и прокатки.



Жидкий металл наливают из ковша 1 в приемник 2, из которого он поступает на поверхность охлаждаемых валков 3 и 4, вращающихся навстречу друг другу. В зазоре между валками происходит кристаллизация металла. Затвердевший металл 5 в пластичном состоянии выжимается из зазора в виде ленты.

Так получают ленты и листы шириной до 750 мм и толщиной 0,7–2,5 мм из алюминия, чугуна и других сплавов.

Рис. 2.21. Схема жидкой прокатки

**Жидкая штамповка** (рис. 2.22) занимает промежуточное положение между литьем и горячей объемной штамповкой. Порцию жидкого металла 1 заливают в металлическую форму (матрицу) 2, в которую затем опускается металлический пуансон 3, выдавливающий металл и заставляющий его заполнить все полости формы. В результате между формой 2 и пуансоном 3 образуется отливка 4.

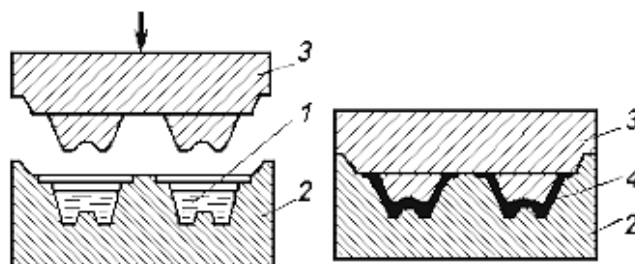


Рис. 2.22. Схема жидкой штамповки

Способ пригоден для сплавов на медной, алюминиевой, магниевой и цинковой основе. Отливки приобретают высокую плотность и механические свойства благодаря интенсивному теплоотводу и горячему деформированию литой структуры в процессе кристаллизации.

Существует множество других, реже применяемых специальных способов литья. Каждый из этих способов имеет свои особенности, определяющие области применения и экономическую эффективность.

## 2.5. Дефекты отливок

Причин возникновения брака в литейном производстве очень много: некачественные формовочные материалы, плохое качество шихты, неудачная конструкция самой детали или литниковой системы, нарушения технологии при формовке, заливке форм и охлаждении отливок.

Дефекты отливок приведены на рис. 2.23.

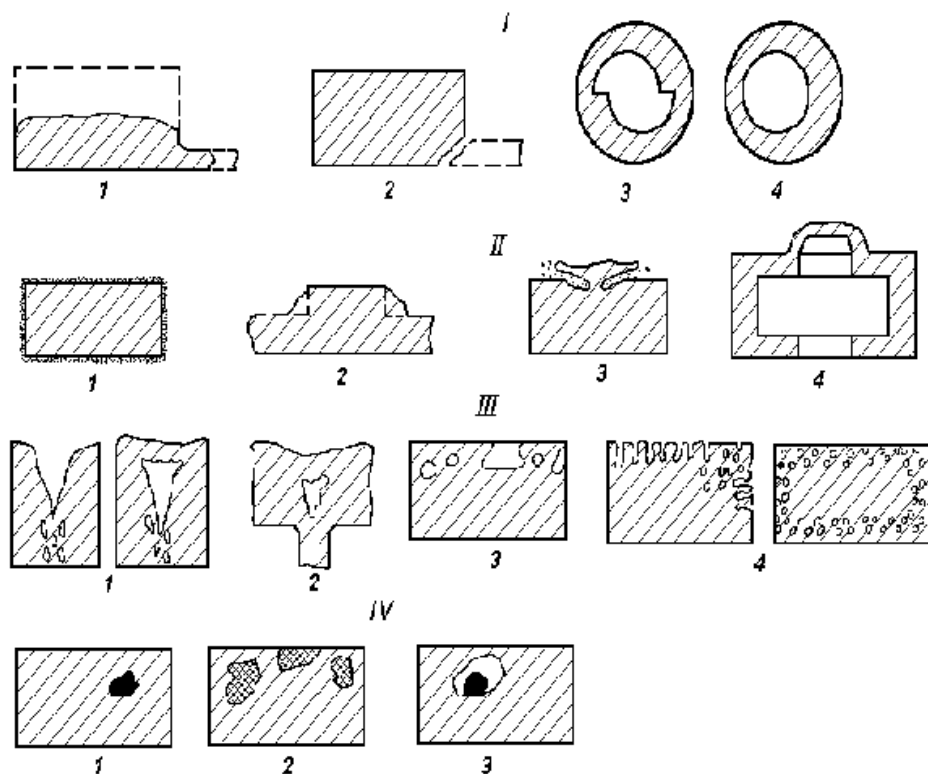


Рис. 2.23. Схема основных видов литейных дефектов

I группа – **несоответствия по геометрии**: недолив 1, вылом 2, перекос 3, разностенность 4;

II группа – **дефекты поверхности**: пригар 1, нарост 2, ужимина 3, залив 4;

III группа – **несплошности в теле отливки**: усадочные раковины 1, газовые раковины 2, пористость 3;

IV группа – **включения**: металлические 1, неметаллические (песчаные раковины) 2, королек 3.

Рассмотрим, что представляют собой некоторые виды дефектов.

**Газовые раковины** (рис. 2.23, III, 2) – полости в теле отливок, созданные воздухом или газами, выделяющимися из жидкого металла при его затвердевании. Причинами их образования являются недостаточная газопроницаемость и повышенная влажность формовочной смеси, недостаточная дегазация металла перед заливкой.

**Усадочные раковины** (рис. 2.23, III, 1) – открытые или закрытые полости в теле отливки, которые обычно образуются в утолщенных местах отливки. Причинами образования усадочных раковин являются неправильный подвод металла в форму, а также заливка форм излишне перегретым металлом, неправильная конструкция отливки, допускающая скопление больших объемов металла в отдельных ее частях.

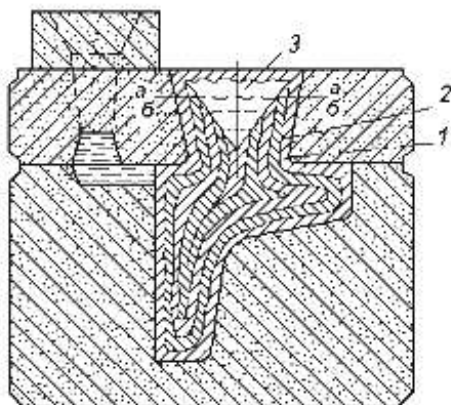


Рис. 2.24. Схема образования усадочной раковины

Схема образования усадочной раковины показана на рис. 2.24.

Сначала около стенок литейной формы образуется корка 1 твердого металла. Так как усадка расплава при переходе из жидкого состояния в твердое превышает усадку корки, то уровень металла в незатвердевшей части отливки понижается до линии а – а. В следующий момент времени на корке 1 нарастает новый твердый слой 2, а уровень жидкости понижается далее – до линии б – б. Так продолжается до тех пор, пока не закончится процесс затвердевания.

Снижение уровня расплава при затвердевании приводит к образованию сосредоточенной усадочной раковины 3.

Этот дефект характерен для отливок из чистых металлов, сплавов эвтектического состава и сплавов с узким интервалом кристаллизации.

**Усадочная пористость** (рис. 2.23, III, 3) – скопление мелких пустот в обширной зоне отливки, образовавшихся в результате усадки при срастании кристаллов.

Схема образования усадочной пористости показана на рис. 2.25.

В разобщенных ячейках 2 между сросшимися кристаллами остатки жидкой фазы 1 кристаллизуются без доступа к ним питающего расплава, поэтому в каждой такой ячейке

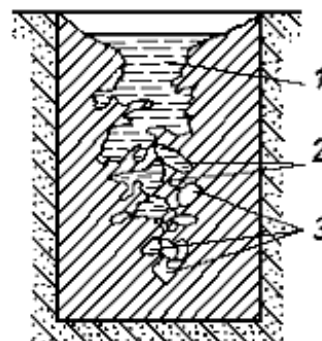


Рис. 2.25. Схема образования усадочной пористости



образуется маленькая усадочная раковина 3. Множество таких межзеренных раковин образует пористость.

Этот дефект характерен для отливок из сплавов с широким интервалом кристаллизации.

*Песчаные раковины* (рис. 2.23, IV, 2) – чаще всего открытые, различной формы пустоты в теле отливки, частично или целиком заполненные формовочной смесью. Причинами образования песчаных раковин являются разрушение отдельных частей формы, смыв формовочной смеси расплавом при неправильном его подводе.

*Холодные трещины* – сквозные и несквозные разрывы в стенках отливки, небольшой ширины и значительной длины. Они образуются при низких температурах и имеют неокисленную поверхность. Причиной появления холодных трещин является усадка сплава, приводящая к большим внутренним напряжениям. Для предупреждения их образования необходимо обеспечивать равномерное охлаждение отливок во всех сечениях, проводить отжиг отливок.

*Горячие трещины* – разрывы в стенках отливки, имеющие значительную ширину и небольшую протяженность. Они образуются при высокой температуре и имеют темную окисленную поверхность. Трещины могут возникать в случае недостаточной податливости стержней и отдельных частей формы, ранней выбивки отливки из формы.

*Заливы* (рис. 2.23, II, 4) – тонкие, различные по величине и форме, не предусмотренные чертежом выступы на отливке, образующиеся по плоскости разъема формы из-за наличия излишнего зазора между полуформами.

*Пригар* (рис. 2.23, II, 1) – трудно отделимый от поверхности отливки слой из металла, его оксидов и частичек формовочной смеси. Это результат взаимодействия прогретого материала формы с расплавом. Для устранения пригара снижают температуру заливки металла, на рабочую поверхность формы наносят противопопригарные покрытия.

*Недолив* (рис. 2.23, I, 1) – неполное заполнение формы расплавом, что наблюдается при недостаточной его жидкотекучести, при скоплении газов, препятствующих заполнению формы, при недостаточных размерах питателей литниковой системы.

*Перекося* (рис. 2.23, I, 3) – несоответствие конфигурации отливки чертежу из-за смещения одной части отливки относительно другой. Перекося, как правило, является следствием неправильного центрирования опок при чрезмерном износе штырей.

*Разностенность* (рис. 2.23, I, 4) – разная толщина стенок отливки, причиной которой является неправильная установка или смещение стержней при заливке формы из-за непрочного их крепления в форме.

*Коробление* – искажение размеров и конфигурации отливки под влиянием внутренних напряжений, возникающих при неравномерном охлаждении отдельных ее частей. Для предупреждения короблений в отливках необходимо увеличивать податливость формы и создавать рациональную конструкцию отливки.





## **2.6. Отходы литейного производства**

Литейное производство характеризуется наличием токсичных воздушных выбросов, сточных вод и твердых отходов.

Острой проблемой в литейном производстве считается неудовлетворительное состояние воздушной среды. Наибольшее количество пыли выделяется оборудованием для выбивки форм и стержней. Для очистки выбросов от пыли применяют циклоны разных типов и скрубберы. Эффективность очистки в этих аппаратах находится в пределах 20–95 %. Применение в литейном производстве синтетических связующих особенно остро ставит проблему очистки воздушных выбросов от токсичных веществ: фенола, формальдегида, оксидов углерода, бензола и др. Для обезвреживания органических паров литейного производства применяют различные способы: термическое сжигание, каталитическое дожигание, адсорбцию активированным углем, окисление озоном, биоочистку и другие способы.

Источником сточных вод в литейных цехах служат, главным образом, установки очистки литья, мокрой очистки воздуха, регенерации отработанных формовочных смесей. Огромное экономическое значение для народного хозяйства имеет утилизация сточных вод и шлама. Количество сточных вод можно значительно снизить путем применения оборотного водоснабжения.

Твердые отходы литейного производства, поступающего в отвалы, представляют собой, в основном, отработанные литейные пески. Незначительную часть (менее 10 %) составляют металлические отходы, керамика, бракованные стержни и формы, огнеупоры, бумажный и древесный мусор.

Основным направлением уменьшения количества твердых отходов в отвалы следует считать регенерацию отработанных литейных песков, что обеспечивает снижение расхода свежих песков, а также связующих и катализаторов. Разработанные технологические процессы регенерации позволяют получать песок с хорошим качеством и высоким выходом целевого продукта.

При отсутствии регенерации отработанные формовочные смеси, а также шлаки необходимо использовать в других отраслях промышленности: отработанные пески – в дорожном строительстве в качестве балластного материала для выравнивания рельефа и устройства насыпей; отработанные песчано-смоляные смеси – для изготовления асфальтобетона; мелкую фракцию отработанных формовочных смесей – для производства стройматериалов: цемента, кирпича, облицовочных плиток; отработанные жидкостекольные смеси – для строительных цементных растворов и бетона; шлак литейного производства – для дорожного строительства в качестве щебня; мелкую фракцию – в качестве удобрения.

Захоронение твердых отходов литейного производства целесообразно проводить в овраги, отработанные карьеры и шахты.



### 3. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (ОМД)

Процесс *обработки металлов давлением* – 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, т. к. 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.

#### Виды обработки металлов давлением

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.

#### 3.1. Теоретические основы обработки металлов давлением

Обработка металлов давлением основана на способности металлов в определенных условиях получать пластические деформации в результате воздействия внешних сил. *Деформацией* называется изменение форм и размеров тела под действием напряжений. Деформация, исчезающая после снятия нагрузки, называется *упругой*, а сохраняющаяся – остаточной или *пластической*. При упругой деформации происходит обратимое смещение атомов из положений равновесия в кристаллической решетке. После снятия нагрузки сместившиеся атомы за счет сил межатомного взаимодействия возвращаются в исходное равновесное положение, и кристаллы приобретают исходную форму и размеры. При пластической деформации атомы смещаются друг относительно друга на расстояния больше межатомных и занимают новые устойчивые положения. Тело принимает новую форму и размеры. Процесс пластической деформации обычно представляет собой процесс скольжения одной части кристалла относительно другой по кристаллографи-

ческим плоскостям скольжения с более плотной упаковкой атомов (рис. 3.1). В таких условиях атомы не выходят из зоны силового взаимодействия, и деформация происходит без нарушения сплошности (без образования трещин, разрывов).

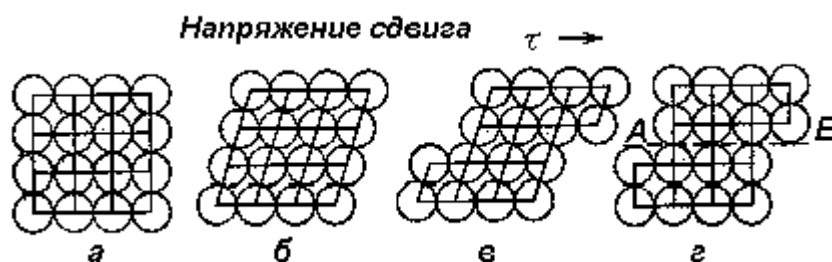


Рис. 3.1. Схема пластической деформации скольжением:

- а – исходное состояние кристалла; б – упругодеформированное состояние;  
в – упруго и пластически деформированное состояние;  
г – состояние после пластической (остаточной) деформации по плоскости АВ

При пластической деформации поликристаллических тел кристаллиты (зерна) меняют свою форму и ориентировку, образуя волокнистую структуру с преимущественной ориентировкой кристаллов. Зерна деформируются и сплющиваются, вытягиваясь в направлении деформации (рис. 3.2).

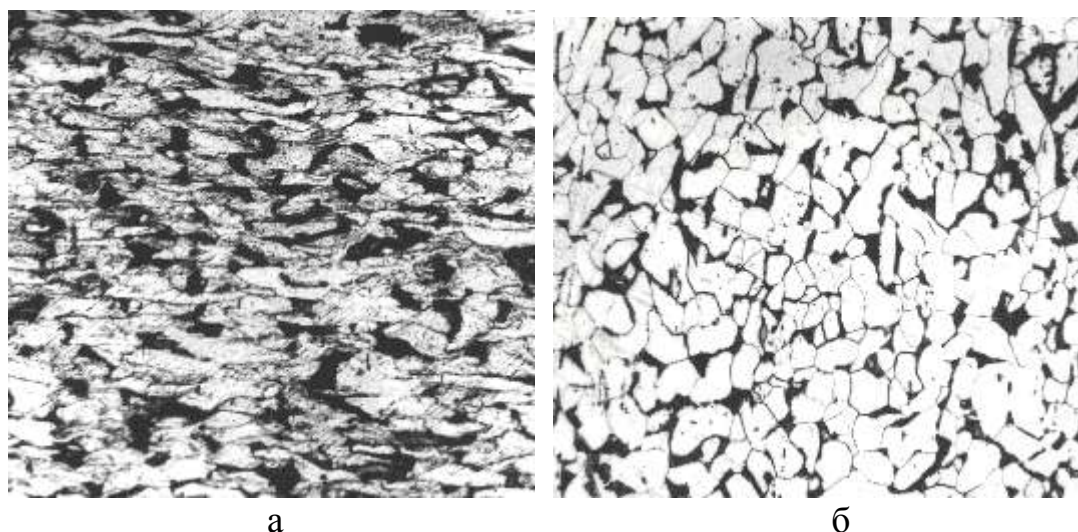


Рис. 3.2. Микроструктура металла:

- а – после холодной деформации; б – в исходном состоянии

Преимущественная кристаллографическая ориентировка зерен вдоль направления деформации называется *текстурой*. Образование текстуры способствует появлению анизотропии свойств вдоль и поперек направления волокон.

С ростом степени деформации увеличивается число дефектов кристаллического строения в металле, что оказывает значительное влияние на механические и физико-химические свойства: механические свойства, характеризующие



сопротивление деформации ( $\sigma_b$ , НВ), повышаются, а свойства, характеризующие способность к пластической деформации ( $\delta$ ,  $\psi$ ), падают (рис. 3.3).

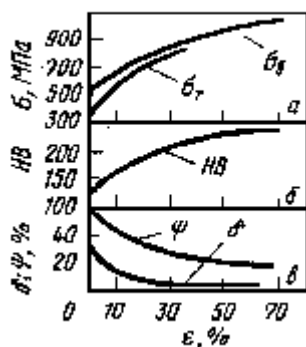


Рис. 3.3. Влияние степени пластической деформации на механические свойства низкоуглеродистой стали

Упрочнение металла под действием пластической деформации называется *наклепом*. Если наклепанный металл нагреть, т. е. сообщить атомам дополнительную энергию, они получают возможность занять новые положения равновесия, т. е. построить новую кристаллическую решетку с небольшим (гораздо меньшим) количеством дефектов. Образование новых зерен взамен продеформированных называется *рекристаллизацией*. В результате рекристаллизации наклеп металла снимается и свойства приближаются к исходным. Плотность дефектов кристаллического строения также уменьшается до первоначального уровня (рис. 3.4).

*Абсолютная температура рекристаллизации* для технически чистых металлов равна:  $T_{\text{рекр.}} = 0,4T_{\text{пл.}}$ , К.

Деформация при температурах ниже температуры рекристаллизации называется *холодной деформацией*; а при температурах выше  $T_{\text{рекр.}}$  – *горячей деформацией* (новые зерна образуются по всему объему металла в ходе деформации). Таким образом, холодная деформация сопровождается наклепом металла, а при горячей деформации одновременно идут упрочнение за счет пластической деформации и разупрочнение при рекристаллизации.

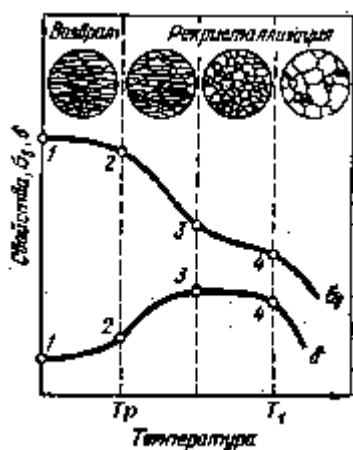


Рис. 3.4. Схема изменения структуры и свойств наклепанного металла при нагреве: 1 – 2 – возврат; 2 – 3 – первичная рекристаллизация; 3 – 4 – собирательная рекристаллизация

При горячей деформации сопротивление деформированию  $\approx$  в 10 раз меньше, чем при холодной деформации, а пластичность резко возрастает, что позволяет добиваться больших степеней деформации с меньшими усилиями. Поэтому горячую деформацию целесообразно применять для изготовления крупных деталей, при обработке труднодеформируемых, малопластичных металлов и сплавов, а также заготовок из литого металла (слитков). Однако из-за образования слоя окисленного металла на поверхности – *окарины* – ухудшается качество поверхности и точность получаемых размеров, а также происходит *угар* металла.



Холодная деформация позволяет достичь высокой точности и чистоты поверхности заготовки, а также управлять свойствами, создавая разную степень наклепа.

Возможность пластического деформирования не безгранична. Основными факторами, влияющими на величину пластической деформации, которой можно достичь без разрушения (предельная деформация), являются механические характеристики металла (сплава), температурно-скоростные условия деформирования и схема напряженного состояния. Схемы напряженного состояния в различных процессах и операциях обработки давлением различны, вследствие чего для каждой операции ОМД, для каждого металла и температурно-скоростных условий имеются свои предельные деформации.

### 3.1.1. Зависимость свойств деталей от направления волокон в металле

Исходной заготовкой для начальных процессов ОМД (прокатки, пресования) является слиток. Если слиток загрязнен неметаллическими включениями, обычно располагающимися по границам кристаллитов, то в результате обработки давлением включения вытягиваются в виде прядей (*волокон*) по направлению наиболее интенсивного течения металла, придавая металлу волокнистое строение, которое при соответствующей обработке поверхности наблюдается невооруженным глазом (рис. 3.5).

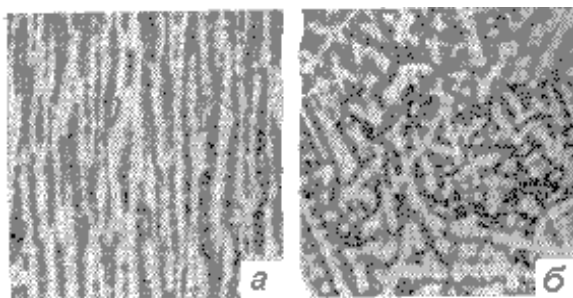


Рис. 3.5. Макроструктура металла:  
а – после обработки давлением;  
б – исходного литого

Металл с явно выраженной волокнистой структурой характеризуется анизотропией механических свойств. Вдоль волокон механические характеристики ( $\delta$ ,  $\Psi$ , КС) выше, чем поперек.

Так как направление волокон зависит от характера деформирования заготовки, желательно в готовой детали получить такое расположение волокон,

при котором она имела бы наилучшие служебные свойства. Волокнистое строение не может быть разрушено термической обработкой и сохраняется даже при горячей деформации.

### 3.1.2. Нагрев металла под обработку давлением

Для проведения процессов горячей пластической деформации металл необходимо нагреть выше 0,65–0,75 абсолютной температуры плавления для повышения пластичности и снижения прочности (рис. 3.6). Нагревать сталь до температур, близких к температуре плавления, нельзя, так как наступает *пережог*, выражающийся в окислении и оплавлении границ зерен, наруше-

нии связей между ними и, как следствие, полной потере пластичности. Пережог является неисправимым браком.

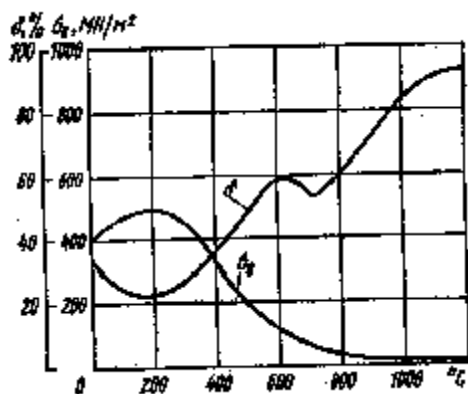


Рис. 3.6. Изменение механических свойств стали, содержащей 0,15 % С, в зависимости от температуры

Ниже температуры пережога лежит зона перегрева. Явление *перегрева* заключается в резком росте размеров зерен и, как следствие, снижении механических свойств деформированных изделий.

Брак по перегреву можно исправить отжигом. Таким образом, максимальную температуру нагрева, т. е. температуру начала горячей обработки давлением, следует назначать такой, чтобы не было ни пережога, ни перегрева. Заканчивать горячую обработку давлением следует

также при вполне определенной температуре. Если продолжать деформирование при более низких температурах, металл упрочнится (рекристаллизация не успевает произойти), и вследствие падения пластичности в изделии могут образоваться трещины. Таким образом, каждый металл и сплав имеет свой строго определенный *температурный интервал горячей обработки давлением* (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Температурный интервал горячей обработки сплавов давлением

Сплав	Температурный интервал, °С		Сплав	Температурный интервал, °С	
	Начало	Конец		Начало	Конец
Углеродистые стали:			Магниевого сплавы:		
10	1280	750	МА1, МА2	420	300
45	1200	800	МА5	390	280
Легированные стали:			Медные сплавы:		
ШХ15	1130	850	Бр.АЖМц10–3–1,5	900	750
12Х18Н9Т	1150	900	ЛС60–1	820	700
30ХГСА	1140	830			
Алюминиевые сплавы:			Титановый сплав		
Д1, АК8	470–440	400	BT8	1100	900
АК4	470–420	350			

Нагрев желательно осуществлять с наибольшей скоростью, т. е. за возможно короткое время. При этом в меньшей степени происходит рост зерна, снижаются отходы металла на угар (образование окалины за счет взаимодействия с кислородом атмосферы печи), меньше углерода выгорает с поверхности стальных заготовок. Температура посадки металла в нагревательное устройство и скорость нагрева определяются его пластичностью и теплопроводностью в соответствующем температурном интервале.

В процессе нагрева возникает перепад температур между внутренними и наружными зонами заготовки, сопровождаемый возникновением термических напряжений. Эти напряжения при недостаточной пластичности металла могут привести к возникновению трещин. Разность температур по сечению увеличивается с увеличением скорости нагрева, поэтому существует максимально допустимая скорость нагрева:

$$T = K \cdot D \sqrt{D},$$

где  $T$  – время нагрева, ч;  $D$  – диаметр или толщина заготовки, м;  $K$  – коэффициент, равный для углеродистой и низколегированной стали 12,5, для высоколегированной – 25.

Существенное значение имеет также и режим охлаждения готовых поковок. Слишком быстрое и неравномерное охлаждение может привести к образованию трещин или к короблению вследствие термических напряжений. Чем меньше теплопроводность стали и чем массивнее и сложнее конфигурация изделия, тем медленнее должно быть охлаждение.

### 3.1.3. Нагревательные устройства

В современных процессах обработки металлов давлением нагрев заготовок осуществляют в пламенных и электрических печах, в установках контактного и индукционного электрического нагрева.

Нагрев в пламенных печах происходит за счет лучеиспускания, конвекции и теплопроводности металла. В электрических печах сопротивления металл нагревается за счет лучеиспускания тепла от нагревательных элементов электросопротивления. В установках электроконтактного нагрева – за счет тепла, выделяющегося при прохождении тока через нагреваемую заготовку, а в установках индукционного нагрева – за счет тепла, выделяющегося в заготовке вследствие действия вихревых токов. Основными видами топлива, используемого в пламенных печах, являются мазут и газ, причем газообразное топливо является наиболее прогрессивным. Жидкое топливо (мазут) сжигают с помощью форсунок, распыляющих топливо и обеспечивающих его хорошее смешивание с воздухом. Для сжигания газа применяют газовые горелки, которые служат для подачи газа и воздуха в печь и смешивания их в необходимых пропорциях.

Нагревательные печи бывают двух основных типов: камерные и методические.

**Камерная печь.** В печи (рис. 3.7, а) заготовки 2 укладывают на поду 1 разогретой до температуры посадки печи и после их прогрева до заданной температуры извлекают, как правило, через окно 4, через которое их загружали в печь. Рабочее пространство печи нагревается за счет сжигания топлива с помощью форсунок или горелок 3. Продукты сгорания отводятся через дымоход 5.

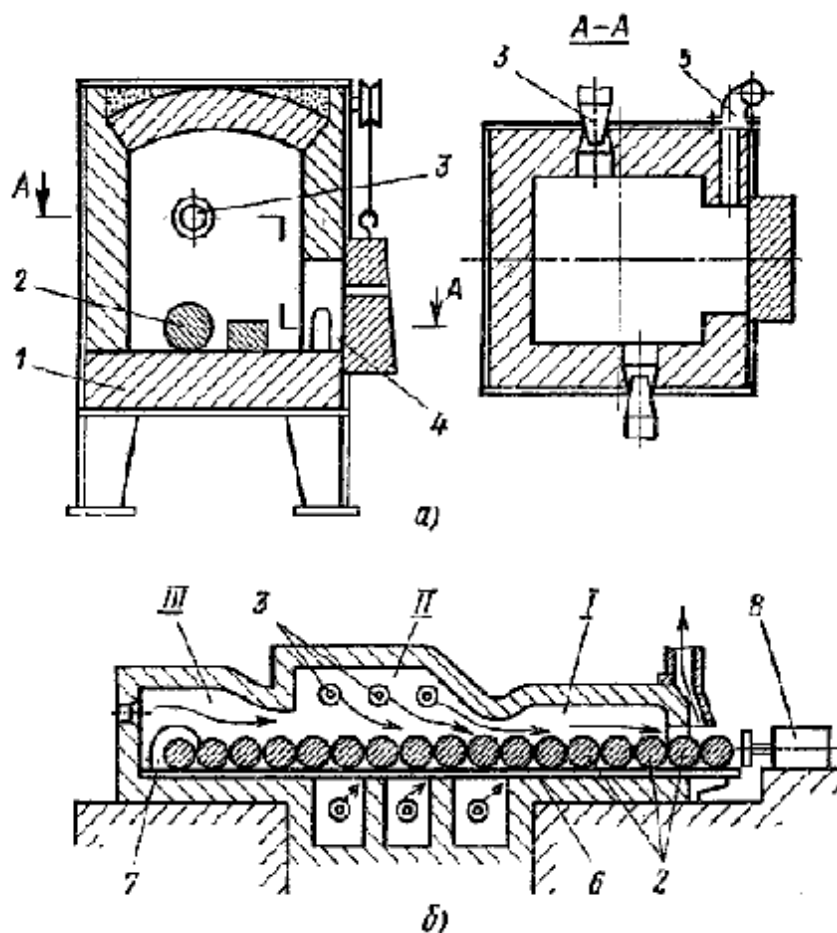


Рис. 3.7. Нагревательные печи: а – камерная; б – методическая

**Методическая печь** (рис. 3.7, б). Рабочее пространство печи имеет несколько зон с различной температурой. Заготовки 2 проталкиваются с помощью толкателя 8 и, перемещаясь по поду печи 6, попадают сначала в первую подогревательную зону I ( $600\text{--}800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), затем в зону максимального нагрева II ( $1250\text{--}1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), где установлены горелки 3. Зона III является зоной выдержки, в которой происходит выравнивание температуры по сечению заготовки. Горячие газы движутся навстречу перемещающимся заготовкам, которые выдаются из печи через окно 7.



Существенным недостатком нагрева в пламенных печах с обычной атмосферой является обезуглероживание поверхности стальных заготовок и высокий угар металла, что связано с большими потерями металла (до 3–4 % от общей массы нагреваемого металла за один цикл нагрева). Для уменьшения потерь металла применяют защитные атмосферы.

**Электронепечи сопротивления.** Конструктивно они такие же, как и пламенные, но в качестве нагревателей используют металлические или карборундовые (силитовые) элементы сопротивления, подключающиеся к силовой электрической сети. Сопротивления, нагреваясь, излучают теплоту, которая передается стенкам печи и заготовкам, находящимся на поду. Явным **преимуществом** таких печей является возможность точного регулирования температуры рабочего пространства. Однако при температурах, необходимых для нагрева стали, стойкость элементов сопротивления низка. Поэтому используют их в основном для нагрева под обработку давлением цветных сплавов.

**Индукционное электронагревательное устройство** (рис. 3.8, а). Заготовку 1 помещают внутрь многовиткового соленоида (индуктора) 2, выполненного из медной трубки. По индуктору пропускают переменный ток, и в заготовке, оказывающейся в переменном электромагнитном поле, возникают вихревые токи, под действием которых и происходит разогрев заготовки.

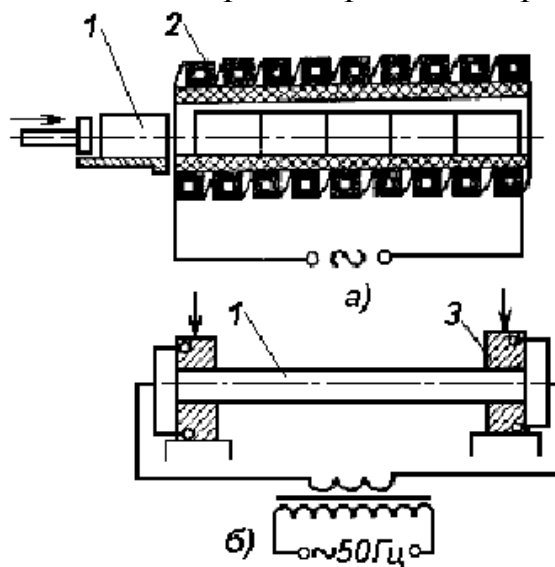


Рис. 3.8. Схемы электронагревательных устройств:  
а – индукционного; б – контактного

**Преимущества** индукционного нагрева: высокая скорость, в несколько раз превышающая скорость нагрева в печах; почти полное отсутствие окалины и обезуглероживания; возможность повышения температуры начала ОМД без появления перегрева; удобство автоматизации подачи и выдачи заготовок; улучшение условий труда.

К недостаткам следует отнести: меньшую универсальность, т. к. для заготовок разных размеров нужно применять разные индукторы; высокую стоимость электроустановок и электроэнергии. Поэтому индукционный нагрев применяют в цехах крупносерийного производства поковок.

**Устройство электроконтактного нагрева** (рис. 3.8, б). В устройствах концы заготовки 1 зажимают между медными контактами 3, к которым подводится ток большой силы. При прохождении тока через заготовку в ней, из-за ее электрического сопротивления, выделяется теплота, пропорциональная квадрату силы тока. Контактный нагрев обладает теми же достоинствами, что и индукционный.

### 3.2. Прокатка

**Прокатка** – вид обработки металлов давлением, при котором металл пластически деформируется между вращающимися валками. При этом силы трения  $P_{тр}$  между валками и заготовкой втягивают ее в межвалковый зазор, а нормальные силы, перпендикулярные к поверхности валков, производят деформирование заготовки (рис. 3.9).

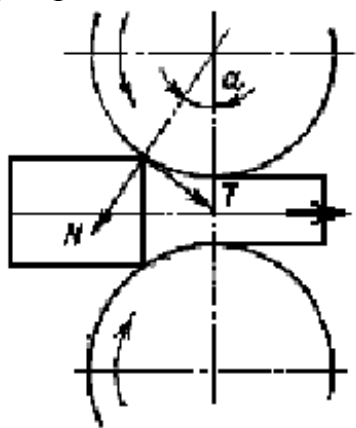


Рис. 3.9. Схема действия сил в момент захвата металла валками

В процессе прокатки уменьшается толщина заготовки при одновременном увеличении ее длины и ширины. Отношение полученной длины  $l$  к первоначальной длине  $l_0$  (равное отношению исходной площади поперечного сечения  $F_0$  к полученной площади  $F$ ) называется коэффициентом вытяжки  $\mu$ :

$$\mu = l / l_0 = F_0 / F.$$

**Абсолютное обжатие** равно разности толщин заготовки до ( $H$ ) и после ( $h$ ) прокатки:  $H - h$ . **Относительное обжатие** в процентах определяется:

$$\varepsilon = (H - h) / H \cdot 100 \, \%.$$

Эти величины ( $\mu$ ,  $\varepsilon$ ) являются основными количественными характеристиками деформации при прокатке. Коэффициент вытяжки при прокатке обычно составляет 1,1–2,0 за проход. Выделяют три основные вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую (косую).

При **продольной прокатке** (рис. 3.10, а) заготовка 2 деформируется между двумя валками 1, вращающимися в разные стороны, и перемещается перпендикулярно осям валков.

При **поперечной прокатке** (рис. 3.10, б) валки 1, вращаясь в одном направлении, придают вращение заготовке 2, которая, перемещаясь вдоль оси валков, деформируется.

При **поперечно-винтовой прокатке** (рис. 3.10, в) валки 1 расположены под углом и сообщают заготовке 2 при деформировании вращательное и поступательное движения. Валки вращаются в одну сторону.

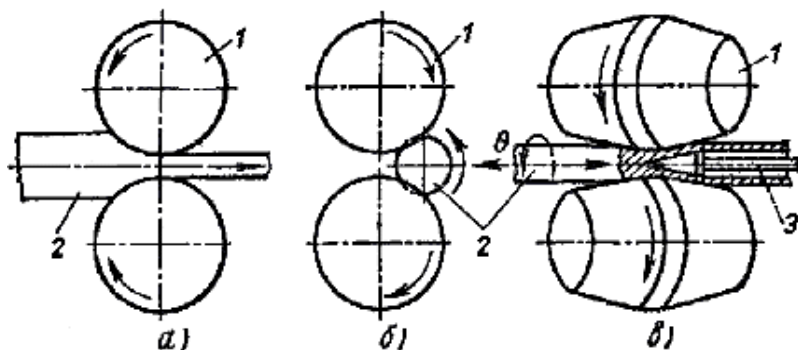


Рис. 3.10. Схемы прокатки: 1 – валки; 2 – заготовка; 3 – оправка

### 3.2.1. Продукция прокатного производства

Форма поперечного сечения прокатанного изделия называется **профилем**. Совокупность различных профилей разных размеров называется **сортаментом**. Сортамент разделяют на 4 основные группы: сортовой прокат, листовой, трубы и специальные виды проката.

Профили **сортового проката** (рис. 3.11, а) подразделяют на группы:

- простой геометрической формы (квадрат, круг, шестигранник, прямоугольник и т. д.);
- сложной, фасонной формы (швеллеры, двутавровые балки, рельсы, уголки и т. д.).

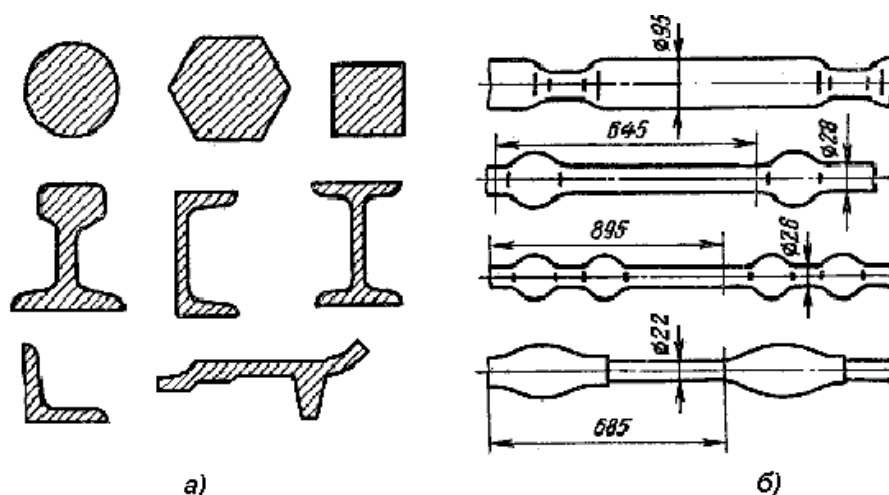


Рис. 3.11. Профили сортового проката (а) и примеры периодического проката (б)

**Листовой прокат** делится на *толстолистовой* – с толщиной листа  $4 \div 160$  мм (броневые плиты имеют толщину до 550 мм) и *тонколистовой* – с толщиной  $0,2 \div 4$  мм. Листы с толщиной меньше 0,2 мм называют *фольгой*.

По назначению листовую сталь делят на электротехническую, судостроительную, котельную, автотракторную, броневую, жечь для консервов и т. д.

**Трубы стальные** разделяют на *бесшовные*, диаметром 30–650 мм, и *сварные*, диаметром 10–1420 мм.

По назначению: общего назначения, котельные, паро- и газопроводные, бурильные, крекинговые и т.д.

Примерами **специальных видов проката** являются железнодорожные колеса, зубчатые колеса, шарики и ролики для подшипников, кольца, различные *периодические профили* (рис. 3.11, б) – заготовки, форма и площадь поперечного сечения которых периодически изменяются вдоль оси. Периодический прокат широко используется в качестве фасонной заготовки для штамповки, а также в виде заготовок под окончательную механическую обработку (вагонные оси, полуоси машин, шатуны мотора и т. п.).

### 3.2.2. Инструмент и оборудование для прокатки

Инструментом прокатки являются *валки*, которые в зависимости от прокатываемого профиля могут быть *гладкими* (рис. 3.12, а) – для прокатки листов, лент и т. п., *ступенчатыми* – для прокатки полосовой стали, *ручьевыми* (рис. 3.12, б) – для получения сортового проката.

**Ручьем** называют вырез на боковой поверхности вала, а совокупность двух ручьев пары валков образует **калибр**. Калибры различают открытые и закрытые (рис. 3.12, в). У *открытых калибров* линия разреза валков находится в пределах калибра, а у *закрытых* – вне его пределов. На каждой паре ручьевых валков обычно размещают несколько калибров. Разработку системы последовательных калибров, необходимых для получения того или иного профиля, называют *калибровкой*. Чем больше разница в размерах поперечных сечений исходной заготовки и конечного изделия и чем сложнее профиль последнего, тем большее количество калибров требуется для его получения. Так, для получения рельсов используют систему из 9 калибров, балок – из 9–13, для получения проволоки – из 15–19.

Валки состоят из бочки 1 (рабочая часть вала), шеек 2 (цапф) и тrefы 3. Шейки валков вращаются в подшипниках, устанавливаемых в стойках станины. В станине имеются механизмы для изменения расстояния между валками и взаимного расположения их осей.

Комплект валков вместе со станиной называется *рабочей клетью* 4 (рис. 3.12, г). Валки получают вращение от двигателя 8 через понижающий редуктор 7, передающий вращательное движение через шестеренную клеть 6 и шпиндели 5. Совокупность привода, шестеренной клетки, одной или нескольких рабочих клеток образует *прокатный стан*.



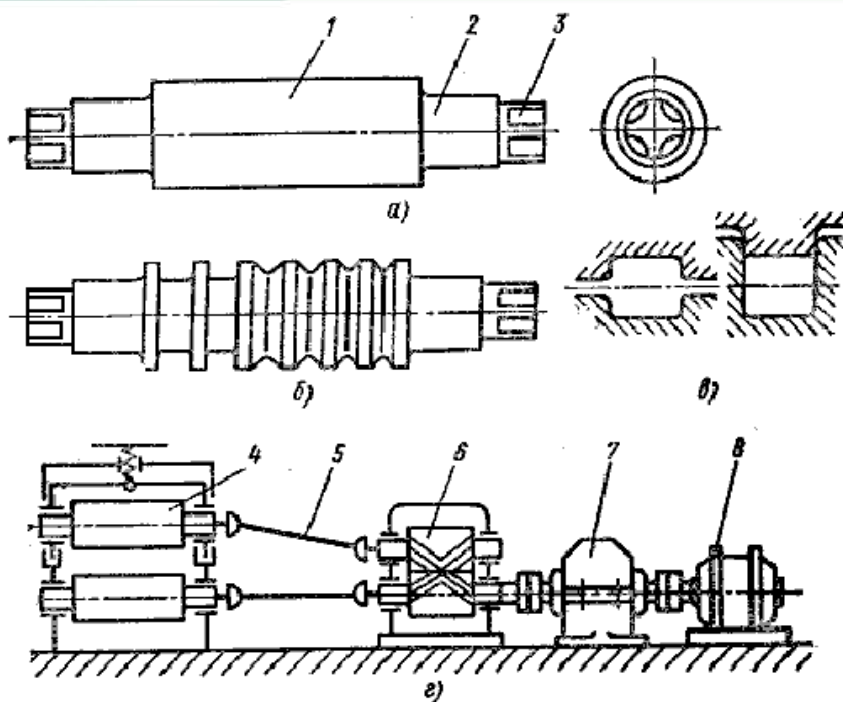


Рис. 3.12. Инструмент и оборудование прокатки:  
а – гладкий валок; б – ручьевого валок;  
в – открытый и закрытый калибры; г – схема прокатного стана

**По числу и расположению валков** в рабочих клетях станы классифицируют на дуо-станы, трио-станы, кварто-станы, многовалковые и универсальные.

**Стан дуо** имеет два валка (рис. 3.13, а), которые имеют либо постоянное направление вращения (*нереверсивные станы*), либо направление вращения, которое можно менять и таким образом пропускать обрабатываемый металл в обе стороны (*реверсивные станы*).

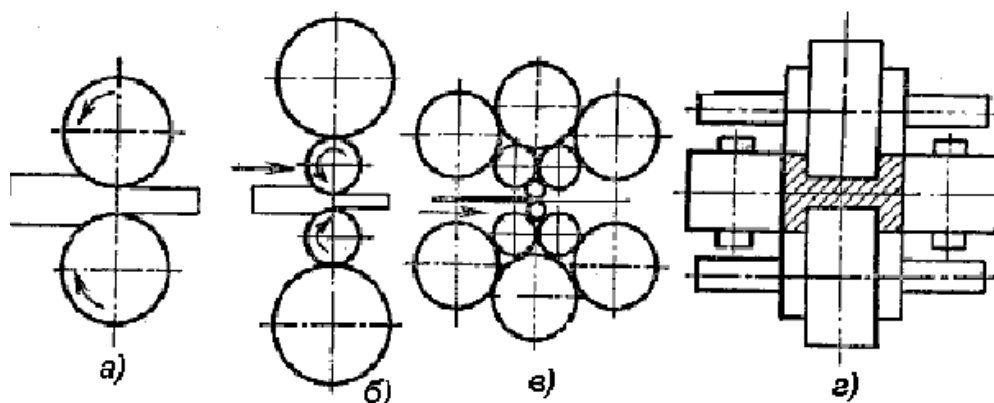


Рис. 3.13. Варианты расположения валков в рабочей клет

*Стан кварто* (рис. 3.13, б) имеет два рабочих и два опорных валка, расположенных один над другим. Приводными являются рабочие валки. *Многовалковые станы*: 12-валковые (рис. 3.13, в) и 20-валковые имеют также только 2 рабочих валка, а все остальные – опорные. Рабочие валки приводят-ся через промежуточные опорные валки. Использование опорных валков по-зволяет применять рабочие валки малого диаметра, благодаря чему увеличи-вается вытяжка и снижается давление металла на валки.

*Универсальные станы* имеют не только горизонтальные, но еще и вер-тикальные валки (рис. 3.13, г).

**По расположению рабочих клеток** различают станы *одноклетьевые* и *многоклетьевые* с линейным или последовательным расположением клеток. У *линейных станов* клетки расположены в одну или несколько линий (рис. 3.14, а); в каждой линии валки связаны между собой и вращаются с од-ной скоростью. Последовательное расположение клеток в *непрерывных ста-нах* (рис. 3.14, б) позволяет значительно повысить производительность про-катки.

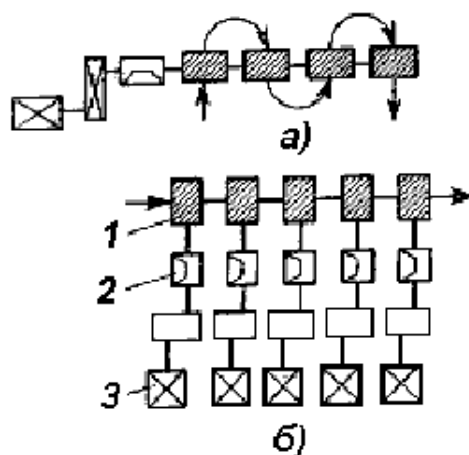


Рис. 3.14. Схемы расположения рабочих клеток станов:  
1 – рабочие клетки; 2 – шестеренные клетки; 3 – двигатели

Привод рабочих клеток непрерывных станов может быть групповым – от одного двигателя, или индивидуальным – каждая клетка имеет свой двига-тель. В обоих случаях скорость прокатки в каждой последующей клетке выше скорости в предыдущей. В непрерывных станах металл движется прямоли-нейно и деформируется одновременно в нескольких клетках.

По **назначению** прокатные станы разделяют на *станы производства полупродукта* и *станы для выпуска готового проката*. К первой группе от-носятся обжимные и заготовочные станы. Станы готового проката характе-ризуются видом выпускаемой продукции: рельсобалочные, сортовые, листо-вые, трубопрокатные, проволочные и станы для специальных видов проката.

*Обжимные станы (блюминги и слябинги)* предназначены для прокатки слитков (до 60 т) в крупные заготовки (блюмы и слябы). *Блум* – заготовка квадратного сечения с размерами от 450×450 до 150×150 мм, после блюминга

ее прокатывают на сортовых станах. *Сляб* имеет прямоугольное сечение толщиной 65–300 мм и шириной 600–1600 мм и представляет собой заготовку для листа.

*Заготовочные станы* предназначены для получения полупродукта более мелкого сечения из блюмов, слябов или слитков небольшой массы.

### 3.2.3. Производство сортового проката

Исходные заготовки для сортовых станов – блюмы – последовательно пропускают через ряд калибров. В зависимости от стадии процесса прокатки различают *калибры обжимные* (уменьшающие сечение заготовки), *черновые* (приближающие сечение заготовки к заданному профилю) и *чистовые* (дающие окончательный профиль). В качестве примера на рис. 3.15 показана система из 9 калибров для получения рельсов. После прокатки прутки разрезают на мерные заготовки и правят в холодном состоянии.

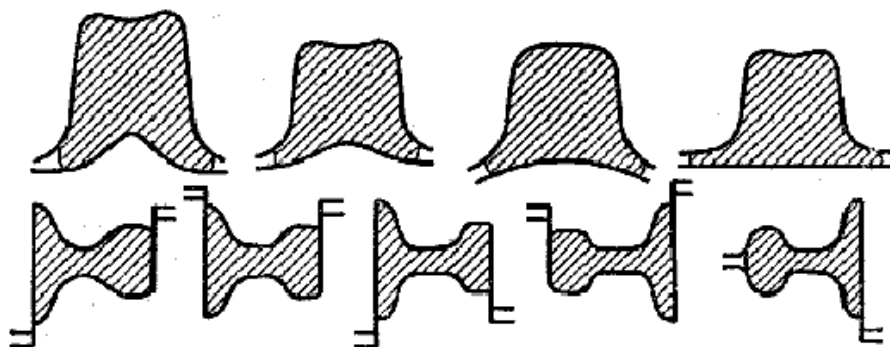


Рис. 3.15. Схема калибров при прокатке рельсов

### 3.2.4. Производство листового проката

Исходную заготовку – сляб – прокатывают (после второго нагрева) в *толстый лист* большей частью на станах с двумя рабочими клетями (черновой и чистовой), расположенными друг за другом. Перед черновой клетью сбивают окалину. Чистовая клеть кварто имеет рабочие валки меньшего диаметра, чем черновая. После прокатки листы правят и обрезают на заданные размеры.

*Тонкие листы* прокатывают в горячем и холодном состояниях. Горячую прокатку ведут на непрерывных многоклетевых станах, имеющих 2 группы клетей (черновую и чистовую). Перед каждой группой в окатиноматериалах очищают листы от окалины. Выходящий из чистовых клетей лист сматывается в рулон. Далее листы в рулонах передаются на отделочные операции (правку, разрезку и др.) или на дальнейшую холодную прокатку. С уменьшением толщины листов до определенной величины горячая прокатка сопровождается быстрым остыванием металла, растет сопротивление дефор-

мации и увеличиваются отходы металла в окалину из-за неизбежных частых подогревов. Поэтому листы тоньше 2 мм в горячем состоянии прокатывать сложно, и такие листы, как правило, получают холодной прокаткой, которая обеспечивает лучшее качество их поверхности и большую точность по толщине. Холоднокатаный лист катают из горячекатаного. Предварительно горячекатаный лист очищают от окалины травлением в кислотах и промывают. Прокатывают на непрерывных станах кварто и на многовалковых станах с применением смазки. Для снятия наклепа проводят промежуточный отжиг в печах с защитной атмосферой, после чего направляют на дальнейшую прокатку или на *дрессировку* (холодная прокатка с небольшим обжатием 0,5–5 % за один проход без смазки). В результате дрессировки повышается прочность, улучшается штампуемость и качество поверхности. Далее проводят отделочные операции: обрезка кромок, разрезка на мерные листы, нанесение антикоррозионных покрытий (цинк, олово, алюминий, пластмасса, лак), полирование и др.

### 3.2.5. Производство труб

**Бесшовные трубы.** При прокатке бесшовных труб первой операцией является *прошивка* – образование отверстия в круглой заготовке. Прошивку выполняют в горячем состоянии на прошивных станах (схема поперечно-винтовой прокатки, рис. 3.10, в) двумя бочкообразными валками, оси которых расположены под углом (4–14°) друг к другу. Валки вращаются в одном и том же направлении. В результате этого заготовка 2 получает одновременно вращательное и поступательное движение. В зоне деформации заготовки преобладают радиальные растягивающие напряжения, что приводит к разрыхлению центральной части заготовки, образованию полости и облегчает прошивку отверстия оправкой 3, устанавливаемой на пути движения заготовки.

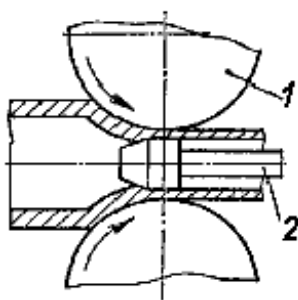
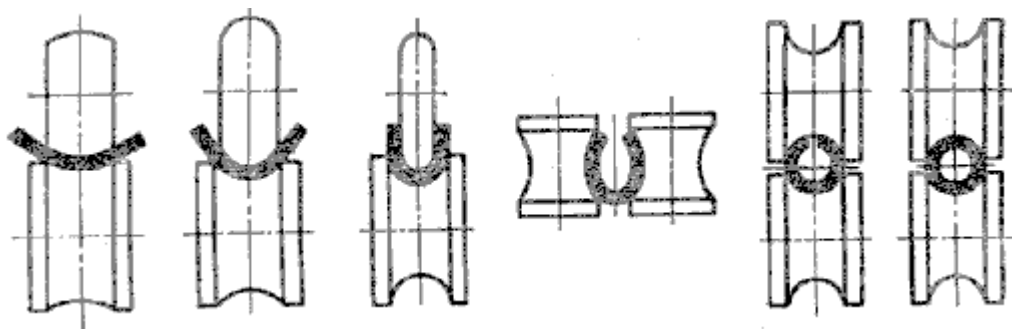


Рис. 3.16. Схема прокатки труб на автоматическом стане

Вторую операцию – последующую *прокатку* полученной гильзы в трубу нужных диаметра и толщины стенки – производят на раскатных станах (схема продольной прокатки). Гильзу раскатывают между двумя валками 1 с последовательно расположенными круглыми калибрами и оправкой 2 (рис. 3.16). Оправку закрепляют на длинном стержне так, чтобы зазор между оправкой и калибром вала определял толщину стенки трубы. Перед прокаткой в следующем калибре трубу поворачивают на 90°. Бесшовные трубы по механическим, физическим, эксплуатационным свойствам превосходят литые и сварные, но значительно дороже.



**Сварные трубы.** Сварные трубы получают из плоской заготовки – ленты, называемой *штрипсом*, по следующей технологии: ленту сворачивают в трубу в формовочном непрерывном стане дуо с числом клеток от 5 до 12 (рис. 3.17). При выходе из последней клетки стана трубная заготовка поступает в электросварочный агрегат, где кромки трубы прижимаются друг к другу роликовыми электродами и свариваются. Далее трубу правят, калибруют, разрезают на мерные куски, производят другие отделочные операции. Кроме электросварки сопротивлением, применяют печную сварку, автоматическую электродугую под флюсом, индукционную.



3.17. Последовательность процесса свертывания полосы в трубу в шести клетях непрерывного стана

### 3.2.6. Производство проволоки

*Проволочные станы* бывают полунепрерывные и непрерывные и предназначены для прокатки проволоки-катанки диаметром 5–10 мм. Проволоку меньшего диаметра получают волочением.

### 3.2.7. Производство специальных видов проката

К специальным видам прокатки относят прокатку профилей периодического сечения, колес, шаров, колец и др. Периодические профили изготавливают, в основном, поперечной и поперечно-винтовой прокаткой. На рис. 3.18. показана схема стана поперечной прокатки.

Щуп 4 скользит по копирующей линейке 3, жестко связанной с кареткой 2 натяжного устройства. В зависимости от профиля копирующей линейки 3 рабочие валки 1 по мере ее движения сближаются или расходятся, изменяя соответственно диаметр прокатываемого профиля. Периодические профили применяют как фасонные заготовки для последующей штамповки и как заготовку под окончательную механическую обработку (полуоси автомобилей, ступенчатые валы и др. (рис. 3.11, б).

На рис. 3.18, б дана схема стана поперечно-винтовой прокатки. Здесь валки 6 и 8 вращаются в одну и ту же сторону. Ручьи валков соответствующей формы сделаны по винтовой линии. Заготовка 5 при прокатке получает

вращательное и поступательное движение; от вылета из валков она предохраняется центрирующими упорами 7. Такие станы используют для прокатки заготовок шаров и сферических роликов подшипников качения.

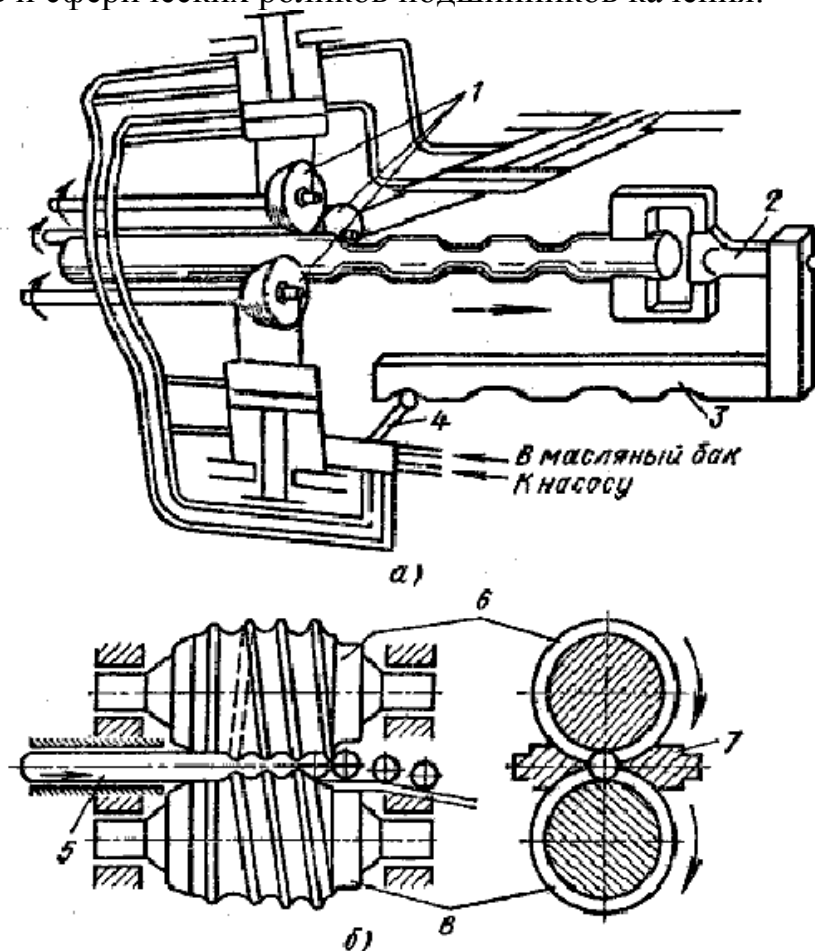


Рис. 3.18. Схемы прокатки периодических профилей в трехвалковом стане поперечной прокатки (а) и в стане поперечно-винтовой прокатки (б)

На рис. 3.19 показана последовательность изготовления железнодорожного колеса.

Исходной заготовкой являются слитки или прокат круглого сечения. После нагрева заготовку осаживают на гидравлическом прессе и прошивают отверстие (рис. 3.19, а); затем на более мощном прессе формируют в штампе ступицу, диск и контур обода (рис. 3.19, б). Полученная заготовка поступает на колесопрокатный стан, где раскатывают диск, прилегающий к ободу, раскатывают обод и окончательно оформляют гребень на ободу колеса (рис. 3.19, в).

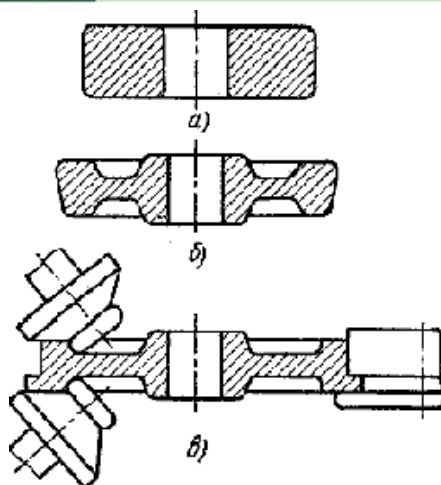


Рис. 3.19. Последовательность изготовления железнодорожного колеса

### 3.2.8. Производство гнутых профилей

Горячей прокаткой фасонных профилей невозможно получить стенки с толщиной менее 2–3 мм. Фасонные тонкостенные профили, легкие, но жесткие, сложной конфигурации и большой длины, можно получить методом холодной гибки листового материала на специальных гибочных роликовых станах. Станы имеют 6–20 последовательно расположенных клеток непрерывного типа. В каждой паре гибочных роликов меняется форма листовой заготовки, постепенно приобретая к последней клетки заданную форму (рис. 3.20).

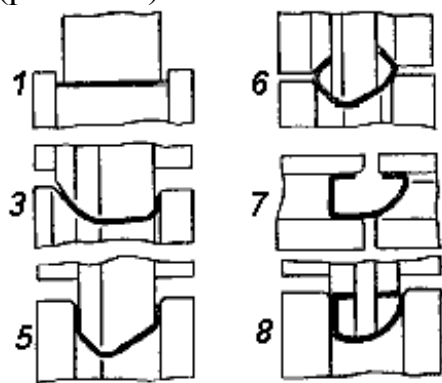


Рис. 3.20. Последовательность профилирования на профилегибочном стане

Площадь сечения не меняется. Толщина заготовок из листового стали или цветных металлов 0,3–20 мм, а максимальная ширина 600–2500 мм.

При одних и тех же прочностных свойствах гнутые профили на 25–40 % легче горячекатаных фасонных профилей, что обуславливает их широкое применение в автомобильной и авиационной промышленности, в машиностроении и строительстве (см. рис. 3.21).

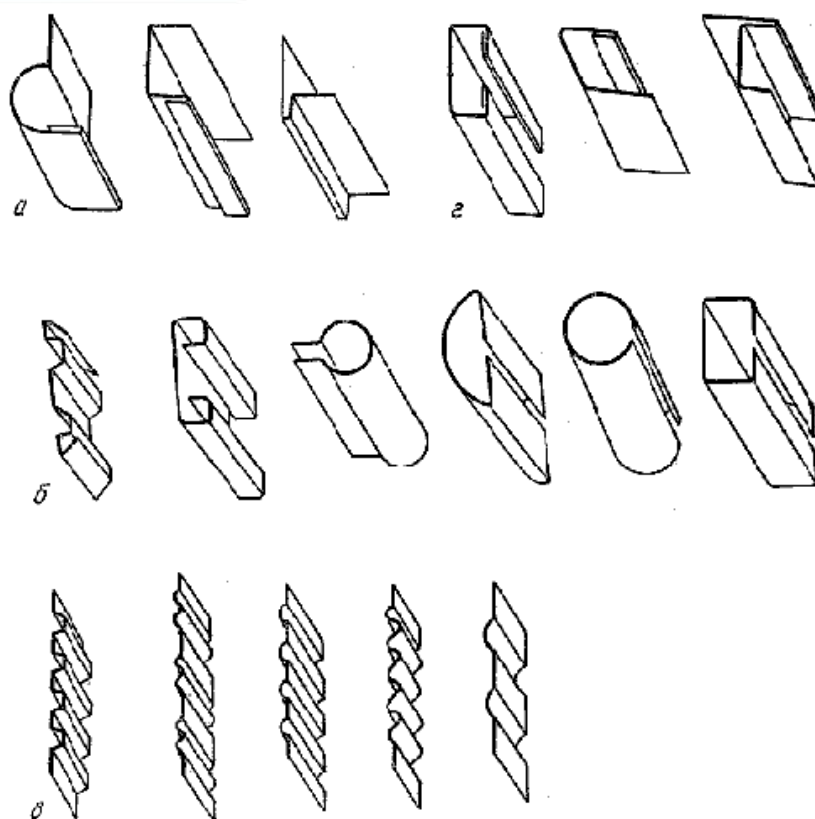


Рис. 3.21. Основные виды гнутых профилей: а, г – профили с элементом двойной толщины; б – профили замкнутого типа; в – гофрированные профили

### 3.3. Ковка

**Ковка** – вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется ударами универсального инструмента – *бойков*. Ковкой получают заготовки для последующей механической обработки. Эти заготовки называют *поковками*. Ковка применяется в индивидуальном и мелкосерийном производстве и разделяется на ручную и машинную. Ручной ковкой получают мелкие поковки в единичном производстве и при ремонтных работах с помощью наковальни и кувалды. Машинная ковка осуществляется на молотах и прессах и является пока единственным способом изготовления тяжелых поковок из слитков весом до 350 тонн. *Молотами* называются машины ударного действия. Продолжительность деформации на них составляет тысячные доли секунды. Для привода молотов используют пар, сжатый воздух или газ, жидкость под давлением, горючую смесь, взрывчатые вещества, магнитные и гравитационные поля. Основными типами молотов дляковки являются пневматические и паровоздушные.



**Паровоздушные молоты** приводятся в действие соответственно паром или сжатым воздухом, подающимся от котлов или компрессоров. Поступая в рабочий цилиндр, энергоноситель разгоняет поршень и связанные с ним подвижные части молота до скорости 6–7 м/с.

**Пневматические молоты** используют сжатый воздух, но воздух является пружиной, связывающей два поршня: рабочий и компрессорный. Компрессорный приводится от коленчатого вала двигателя. Компрессор встроен в молот. Характеристикой мощности молота является *вес падающих частей* (суммарный вес всех частей молота, перемещающихся в его верхней части). Чем больше вес падающих частей, тем выше энергия удара верхнего бойка по заготовке. Пневматические молоты изготавливаются с весом падающих частей от 50 кг до 1000 кг, а паровоздушные – от 1000 кг до 8000 кг.

**Гидравлические прессы.** Прессы развивают статическое усилие, и продолжительность деформации у них может составлять десятки секунд. В гидравлическом прессе усилие создается с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального масла) высокого давления (200–500 ат.), подаваемой в рабочий цилиндр. Характеристикой мощности прессы является *усилие*, развиваемое им и передаваемое заготовке. Дляковки используются гидравлические прессы с усилием от 300 т до 15000 т. Прессы используют дляковки очень крупных, тяжелых изделий – слитков весом до 350 т. На практике при выборе мощности необходимого оборудования для свободнойковки пользуются специальными справочниками, таблицами, формулами.

### 3.3.1. Операцииковки

Процессковки состоит из чередования в определенной последовательности основных и вспомогательных операций. К основным операциям относятся: осадка, протяжка, прошивка, отрубка, гибка, скручивание.

**Осадка** – операция, при которой высота заготовки уменьшается, а площадь поперечного сечения увеличивается (рис. 3.22, а). Разновидностью осадки является **высадка** (рис. 3.22, б), при которой металл осаживается только на части длины заготовки.

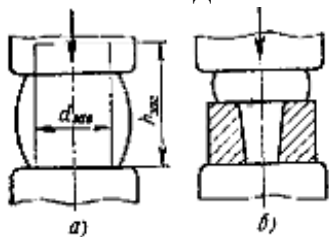


Рис. 3.22. Схемы осадки (а) и высадки (б)

длиныпустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис. 3.23, в).

**Протяжка** – операция удлинения заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения (рис. 3.23, а). Протяжкой получают поковки с удлиненной осью – валы, рычаги, тяги и т. п. Разновидностями протяжки являются: **разгонка** – операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины (рис. 3.23, б), **протяжка с оправкой** – операция увеличения

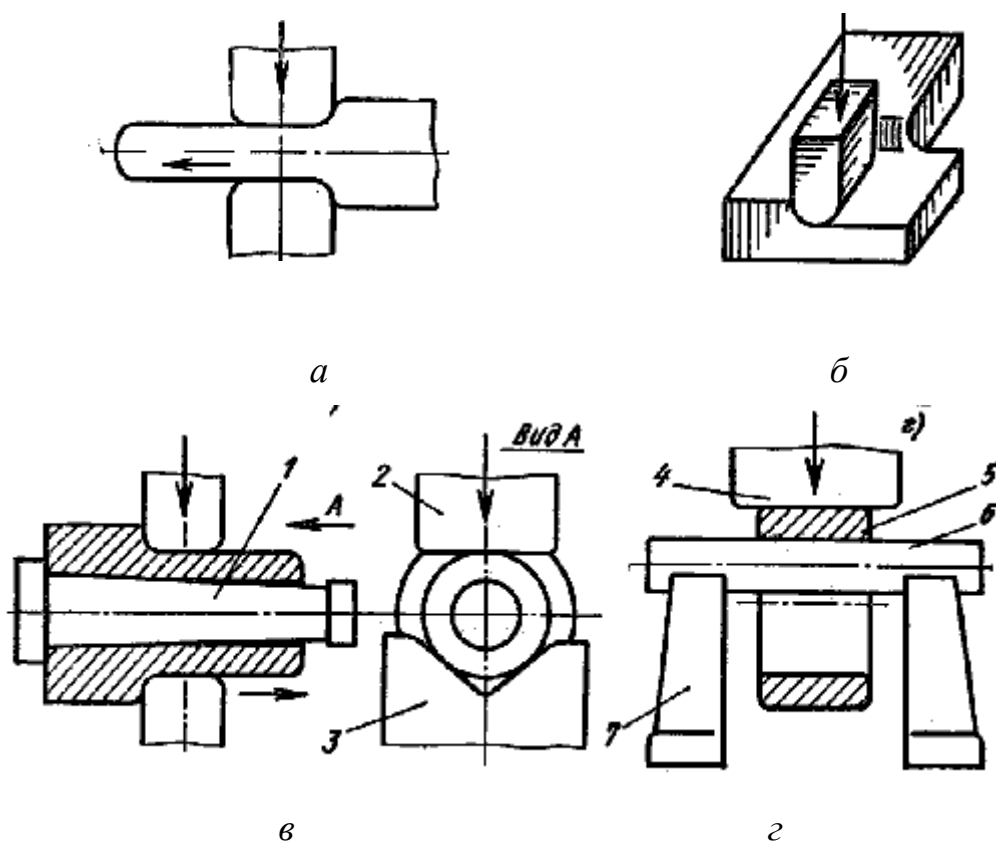


Рис. 3.23. Схема протяжки и ее разновидностей

**Раскатка на оправке** – операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис. 3.23, г). Заготовка 5 опирается внутренней поверхностью на цилиндрическую оправку 6, устанавливаемую концами на подставках 7, и деформируется между оправкой и бойком 4.

**Прошивка** – операция получения полостей в заготовке за счет вытеснения металла (рис. 3.24, а). Прошивкой можно получить сквозное отверстие или углубление (глухая прошивка). Инструментом для прошивки являются *прошивки* (рис. 3.24, в), сплошные и пустотелые; последними прошивают отверстия большого диаметра (400–900 мм). При сквозной прошивке тонких поковок применяют *подкладные кольца* (рис. 3.24, б). Более толстые поковки прошиваются с двух сторон без подкладного кольца (рис. 3.24, а).

**Отрубка** – операция, при которой заготовки разделяют или только подразделяют (*надрубка*) на части путем внедрения деформирующего инструмента – *топора* (рис. 3.24, г). Отрубку применяют для получения мерных заготовок, для удаления излишков металла на концах поковок или при удалении донной и избыточной частей слитка, а также при ковке фигурных поковок.

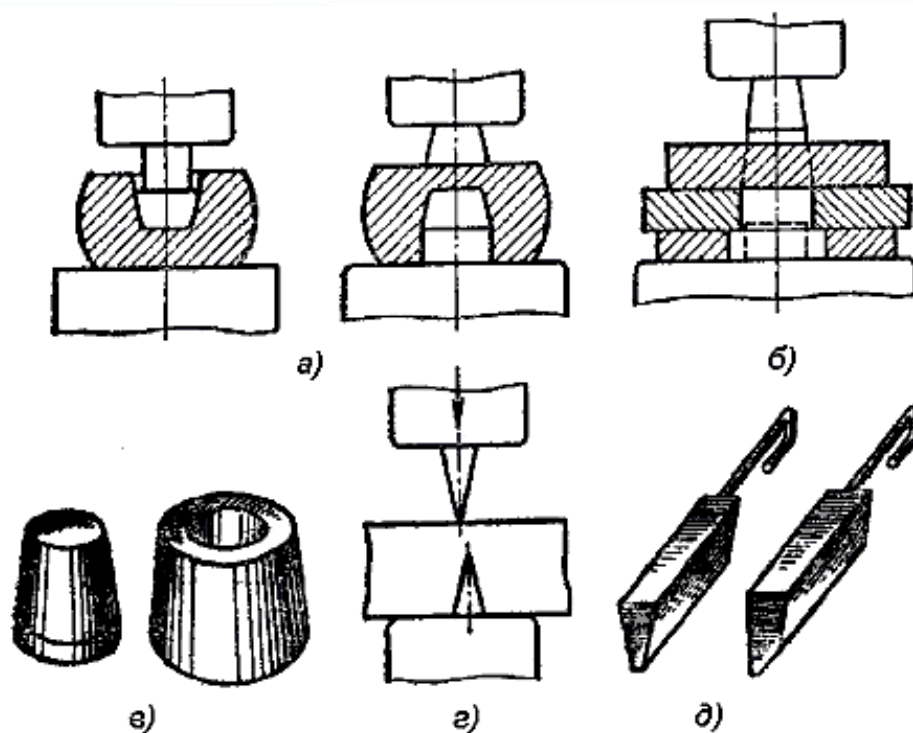


Рис. 3.24. Схемы прошивки и отрубки:

а – двусторонняя; б – односторонняя с подкладным кольцом;  
в – прошивки; г – отрубка; д – топоры

**Гибка** – операция придания заготовке изогнутой формы по заданному контуру (рис. 3.25, а). Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны и т. п.

**Скручивание** – операция, при которой часть заготовки поворачивается вокруг продольной оси (рис. 3.25, б). При скручивании одну часть заготовки зажимают между бойками, другую разворачивают с помощью приспособлений – воротков, ключей, лебедок, вилок. Скручивание применяют при изготовлении коленчатых валов, сверл и т. п.

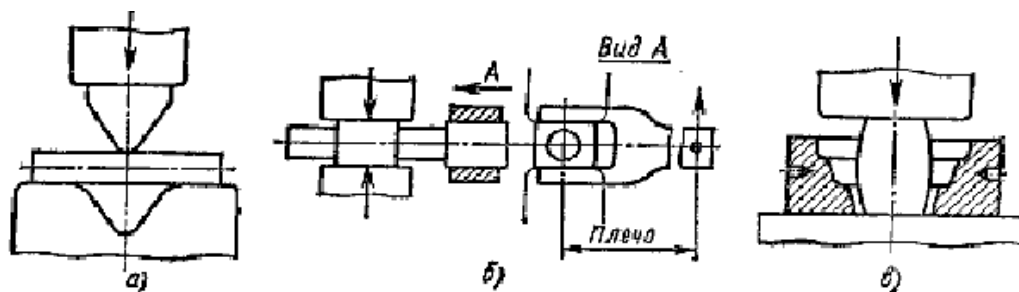


Рис. 3.25. Схемы:

а – гибки; б – скручивания; в – штамповки в подкладном штампе



**Кузнечная сварка** - операция, посредством которой с помощью местного нагрева и механического воздействия соединяют в одно целое части или концы свариваемой поковки. Хорошо сваривается сталь, содержащая до 0,3 % углерода. Способы сварки – внахлестку, вразруб. Сварка производится при температуре 1300–1400 °С ударами, наносимыми по свариваемым заготовкам в быстром темпе, в один прием. Для получения качественного соединения при нагреве заготовок применяют флюсы.

Кроме рассмотренных основных операций свободнойковки могут использоваться и другие. Реальный технологический процесс изготовления поковок представляет собой последовательное осуществление нескольких операций.

Величина деформации при ковке характеризуется коэффициентом уковки  $K_y$ :

$$K_y = F_1/F_2,$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – большая и меньшая площади поперечного сечения до и послековки. При ковке заготовок из проката чаще всего коэффициент уковки бывает 1,3–1,5, а при ковке слитков  $K_y = 3–10$ . Чем больше  $K_y$  слитков, тем лучше структура металла и выше его механические свойства.

### 3.3.2. Особенности конструирования деталей, изготавливаемых свободнойковкой

Поковки должны быть наиболее простыми, очерченными цилиндрическими поверхностями и плоскостями (рис. 3.26, 1–4). Следует избегать в поковках конических и клиновых форм (рис. 3.26, 5–6). Надо учитывать трудность выполнения ковкой участков пересечений цилиндрических поверхностей между собой и с призматическими поверхностями (рис. 3.26, 7–8). В поковках необходимо избегать ребристых сечений, выступов, бобышек и т. п. В местах сложной конфигурации приходится прибегать к напускам в целях упрощения очертаний поковки. Следует стремиться, чтобы форма детали позволяла получить при ковке наиболее благоприятное расположение волокон. Чертеж поковки составляют на основании разработанного конструктором чертежа готовой детали с учетом припусков, допусков и напусков.



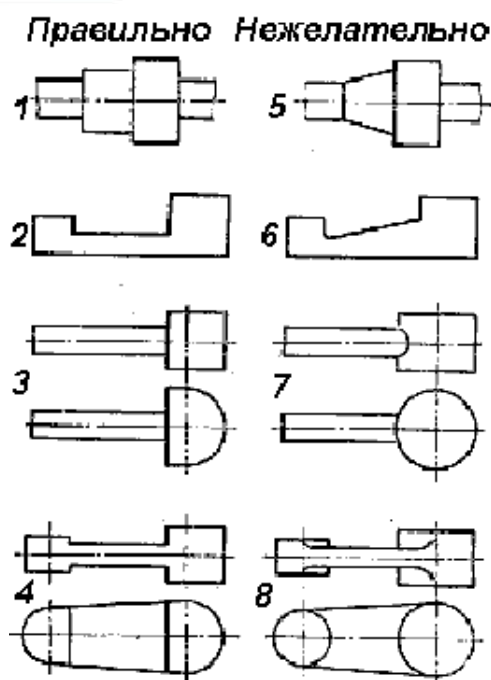


Рис. 3.26. Правильные и нежелательные формы поковок

**Припуск** – поверхностный слой металла в поковке, подлежащий удалению механической обработкой для получения требуемых размеров и качества поверхности детали (рис. 3.27, а).

**Допуск** – допустимое отклонение от номинального размера поковки, т. е. точность, с которой должна быть изготовлена поковка (рис. 3.27, а).

Если припуски предусматривают только в местах, подлежащих обработке резанием, то допуски – на все размеры поковки.

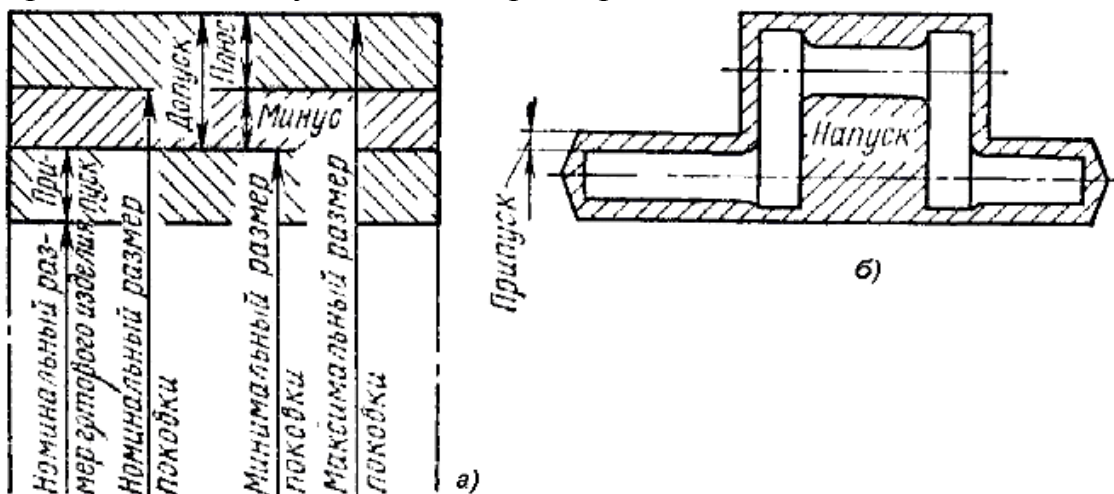


Рис. 3.27. Схема размеров поковки

Иногда конфигурацию поковки упрощают за счет *напусков* – объема металла, добавляемого к поковке сверх припуска для упрощения ее формы и, следовательно, процессаковки (рис. 3.27, б). Напуски удаляют последующей механической обработкой. Припуски, допуски и напуски назначают в соответствии с ГОСТом.

### 3.3.3. Механизацияковки

Для снижения трудоемкости и повышения производительности, а также для улучшения условий труда при ковке стремятся максимально механизировать этот процесс. Для посадки заготовок (слитков) в печь и выдачи их из печи кроме мостовых и консольно-поворотных кранов применяют специальные посадочные машины напольного или подвесного типов. Ковку на прессах и молотах можно механизировать с помощью различных кранов, кантователей и манипуляторов.

### 3.3.4. Технико-экономические характеристикиковки и область ее применения

К основным **преимуществам** свободнойковки относятся:

1. Получение металла с более высокими механическими свойствами по сравнению с отливками.
2. Возможность получать крупные поковки по массе (до 350 т) и габаритам, что другими способами недостижимо.
3. Для изготовления крупных поковок требуются сравнительно небольшие усилия, т. к. обработка осуществляется обжатием отдельных небольших участков и металл относительно свободно течет в стороны.
4. Применение универсального оборудования и инструмента резко снижает затраты производства, особенно мелкосерийного.

К **недостаткам** свободнойковки относятся:

1. Низкая производительность по сравнению с горячей штамповкой. Этот недостаток стремятся устранить путем максимальной механизации процесса.
2. Большие напуски на поковках, что требует большого объема последующей обработки. Большие допуски и припуски, особенно на крупных поковках.

Обе эти причины вызывают повышение отходов металла в стружку. Таким образом, свободную ковку целесообразно применять в единичном и мелкосерийном производстве, а также при изготовлении крупногабаритных заготовок.

## 3.4. Штамповка

**Штамповка** – способ изготовления изделий давлением с помощью специального инструмента (*штампа*), рабочая полость которого определяет конфигурацию конечной *штампованной поковки* (изделия).

По сравнению с ковкой штамповка имеет ряд **преимуществ**:

1. Можно получать поковки сложной конфигурации без напусков. При этом допуски на штампованную поковку в 3–4 раза меньше, чем на кованую.

Следовательно, значительно сокращается отход металла в стружку при последующей обработке резанием.

2. Производительность штамповки значительно выше – десятки и сотни поковок в час.

К **недостаткам** относятся:

1. Дорогостоящий штамповый инструмент – штамп – используется для изготовления только одной, конкретной поковки.

2. Для штамповки требуются гораздо большие усилия деформирования, чем дляковки таких же поковок.

Следовательно, штамповка экономически целесообразна при серийном производстве поковок массой до 20–30 кг.

Процессы штамповки разделяют на *объемную* и *листовую штамповку*. Объемную штамповку подразделяют на *горячую* и *холодную*.

### 3.4.1. Горячая объемная штамповка

Сущность процесса *горячей объемной штамповки* заключается в том, что нагретая до оптимальной температуры заготовка ( $T_{\text{нагр.}} > T_{\text{рекр.}}$ ) помещается в полость одной из половин штампа, где она при воздействии второй половины приобретает заданную форму.

Полость внутри штампа называют *ручьем*. В качестве заготовок для горячей штамповки используют прокат круглого, квадратного, прямоугольного профилей, реже – периодический прокат. Горячей объемной штамповкой получают заготовки сложной конфигурации (шестерни, коленчатые валы, кронштейны, рычаги и др.) для деталей автомобилей, тракторов, самолетов, железнодорожных вагонов, станков и т. д. (рис. 3.28).

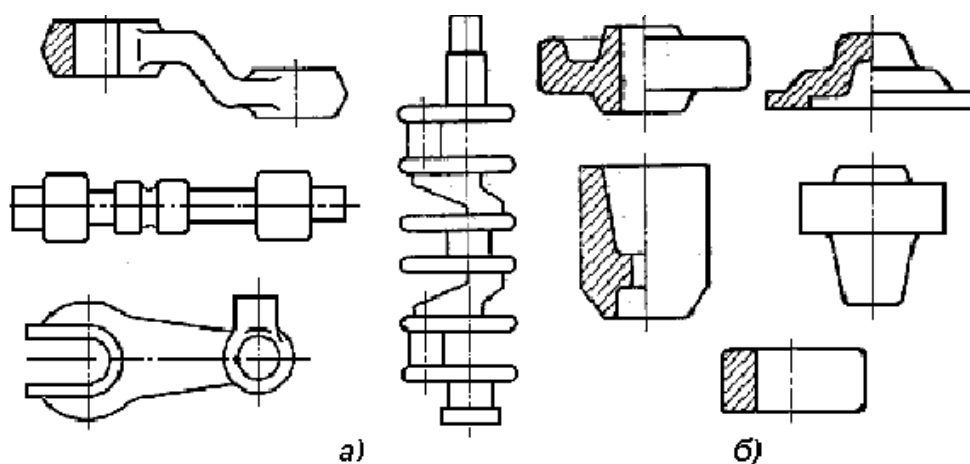


Рис. 3.28. Штампованные поковки

### 3.4.1, а. Штамповка в открытых и закрытых штампах

В зависимости от типа штампа различают **штамповку в открытых штампах** и в **закрытых**. *Открытыми штампами* называют такие, у которых вокруг всего контура ручья имеется специальная *облойная канавка* 1, соединенная тонкой щелью  $h_3$  с полостью штампа (рис. 3.29, а). Избыток металла при штамповке вытесняется в *облой* (заусенец), что позволяет не предъявлять особо высоких требований к точности заготовок по объему. Заусенец затем обрезается в специальных штампах.

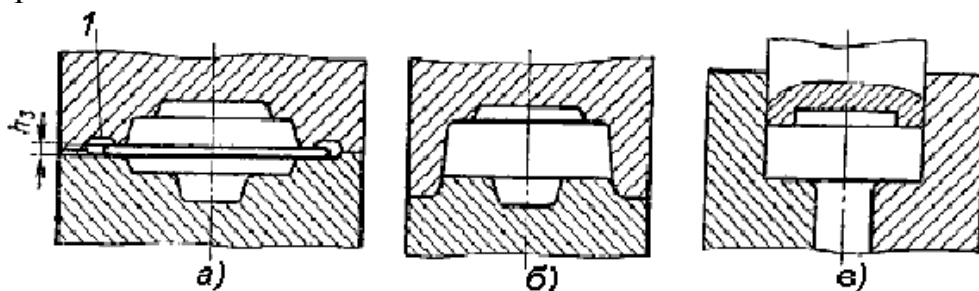


Рис. 3.29. Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах:  
1 – облойная канавка

Штамповка в *закрытых штампах* (рис. 3.29, б) осуществляется без облоя. В этом случае необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, т. е. отрезка заготовок должна проводиться с высокой точностью. **Преимуществом** штамповки в закрытых штампах является уменьшение расхода металла, т. к. нет отхода в заусенец.

### 3.4.1, б. Особенности конструирования деталей, изготавливаемых объемной штамповкой

Чертеж поковки разрабатывают по чертежу детали. При получении поковок в открытых штампах вначале выбирается поверхность разъема штампа, т. е. поверхность, по которой соприкасаются нижняя и верхняя половины штампа. Ее выбирают так, чтобы поковка легко извлекалась из полости штампа. Глубина полостей в половинах штампа должна быть минимальной и примерно одинаковой (рис. 3.30). Затем назначают напуски, припуски на механическую обработку и допуски на размеры.

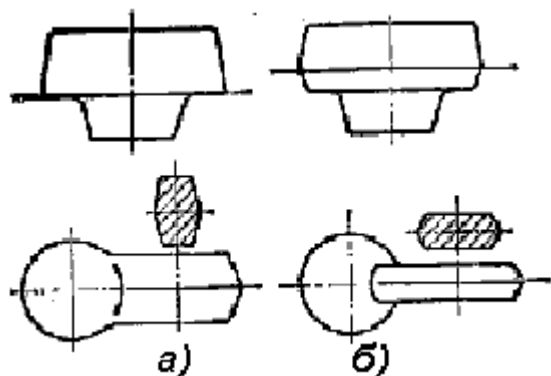


Рис. 3.30. Выбор плоскости разъема штампа:  
а – неправильно; б – правильно



Для свободного извлечения поковки из штампа назначают *штамповочные уклоны* ( $3\text{--}10^\circ$ ). Все пересекающиеся поверхности поковки сопрягаются по радиусам (наружные радиусы 1–6 мм, внутренние – в 3–4 раза больше). Затем назначают припуск на усадку (при охлаждении объем металла уменьшается). После всего этого по чертежу поковки выполняют чертеж штампа, на котором предусматривают облойную канавку.

Чертеж поковки при штамповке в закрытых штампах с одной плоскостью разреза составляют так же, но плоскость разреза выбирают по наибольшей торцевой поверхности детали.

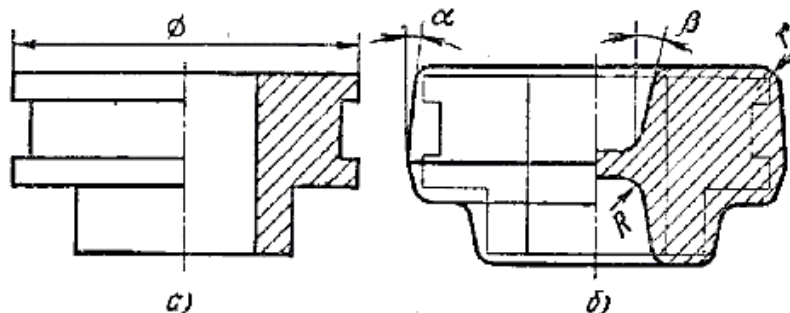


Рис. 3.31. Пример составления чертежа поковки: а – деталь; б – поковка

### 3.4.1, в. Получение штампованных поковок

Поковки простой конфигурации штампуют в штампах с одной полостью, т. е. *одноручьевых*. Поковки сложной формы с резкими изменениями сечений по длине, с изогнутой осью получить в одноручьевом штампе невозможно, поэтому применяют *мноручьевые штампы* с заготовительными и штамповочными ручьями (рис. 3.32) или одноручьевые *заготовительные* и *чистовые штампы*, установленные на отдельных штамповочных машинах. К *заготовительным ручьям*, служащим для получения фасонной заготовки, относятся: протяжной, подкатной, пережимной, формовочный, гибочный, площадка для осадки, отрубной нож. К *штамповочным ручьям* относятся черновой и окончательный чистовой ручей, в котором получают готовую поковку.

**Технологический процесс горячей объемной штамповки:**

1. Раскрой проката на мерные заготовки.
2. Нагрев заготовок.
3. Штамповка.
4. Отделочные операции:
  - а) обрезка облоя, пробивка пленок;
  - б) термообработка – при необходимости;
  - в) правка – устранение короблений, искривлений и т. п.;
  - г) очистка от окалины (в галтовочных барабанах, дробеструйных камерах, травление в кислотах);
  - д) контроль размеров и чистоты поверхности.

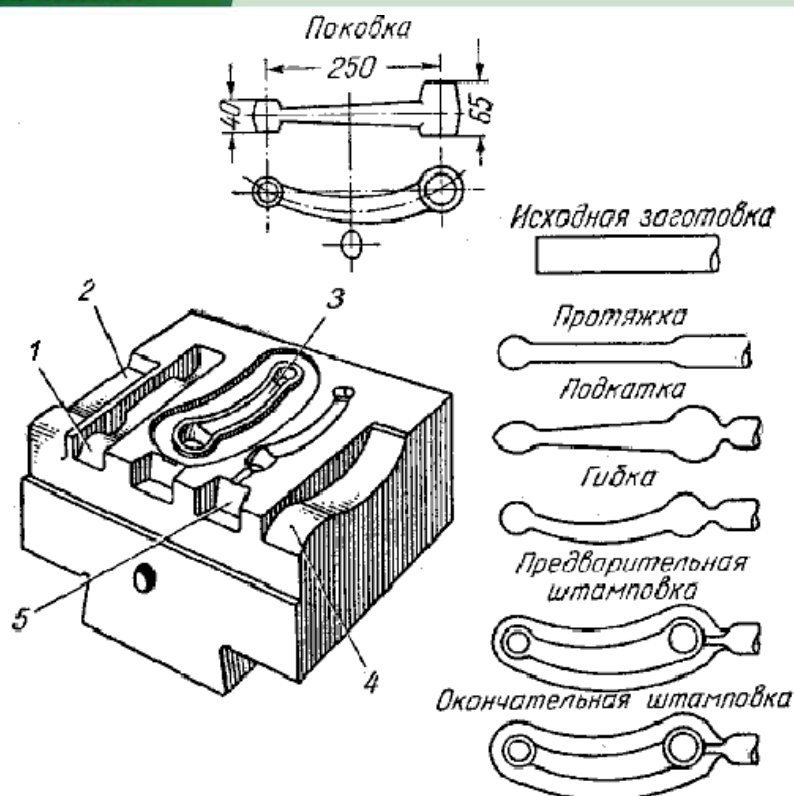


Рис. 3.32. Многоручьевой молотовой штамп

#### 3.4.1, г. Оборудование для объемной штамповки

Для горячей объемной штамповки применяют молоты, кривошипные горячештамповочные прессы, горизонтально-ковочные машины, гидравлические прессы, винтовые прессы и машины для специализированных процессов штамповки.

Основным видом штамповочных молотов являются **паровоздушные штамповочные молоты**. Принцип действия их аналогичен ковочным паровоздушным молотам, но конструкция другая. У них стойки станины крепятся непосредственно к шаботу; имеют усиленные регулируемые направляющие для движения бабы. Масса шабота в 20–30 раз больше массы падающих частей. Эти особенности обеспечивают необходимую точность соударения штампов.

**Кривошипные горячештамповочные прессы** (рис. 3.33). Электродвигатель 4 передает движение клиновыми ремнями на шкив 3, сидящий на валу 5, на другом конце которого закреплено малое зубчатое колесо 6. Это колесо находится в зацеплении с большим зубчатым колесом 7, свободно вращающимся на кривошипном вале 9.

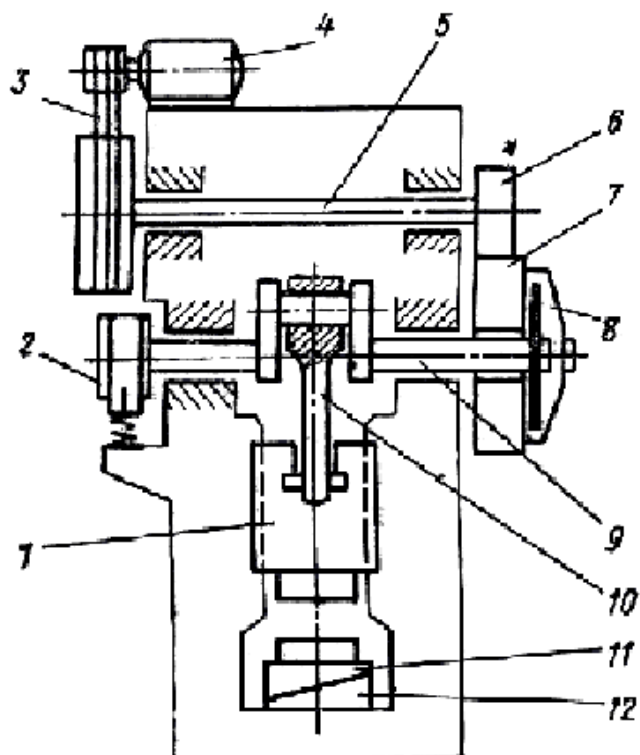


Рис. 3.33. Кинематическая схема  
кривошипного горячештамповочного пресса

При помощи пневматической фрикционной дисковой муфты 8 зубчатое колесо 7 может быть сцеплено с кривошипным валом 9, чтобы привести его во вращение. Посредством шатуна 10 вращение кривошипного вала преобразуется в возвратно-поступательное движение ползуна 1. Для остановки вращения кривошипного вала служит тормоз 2. Стол пресса 11 может перемещаться клином 12 и таким образом регулировать высоту штамповочного пространства. Для облегчения удаления поковки из штампа прессы имеют выталкиватели в столе и ползуне. Они срабатывают при ходе ползуна вверх. Длина хода ползуна постоянна (равна удвоенному радиусу кривошипа), поэтому в каждом ручье штампуют за один ход пресса (на молотах до 3–5 ударов).

**Преимущества:**

- производительность штамповки на прессах выше, чем на молотах;
- большая точность поковок по высоте;
- штамповочные уклоны меньше, т. к. есть выталкиватели;
- большие возможности для механизации и автоматизации процесса.

**Недостатки:** стоимость пресса в 3–4 раза выше стоимости молота.

**Горизонтально-ковочные машины (ГКМ).** Эти машины имеют штампы, состоящие из трех частей (рис. 3.34): неподвижной матрицы 3, подвижной матрицы 5 и пуансона 1. Пруток 4 с нагретым участком на конце закладывают в неподвижную матрицу 3. Положение прутка определяется упором 2. При включении машины подвижная матрица 5 прижимает пруток к непод-

вижной матрице, упор 2 автоматически отходит в сторону, и после этого пуансон 1 деформирует выступающую часть прутка. Металл заполняет формирующую полость в матрицах и в пуансоне (если она в нем есть). После деформирования пуансон движется в обратном направлении, матрицы разжимаются и поковку вынимают.

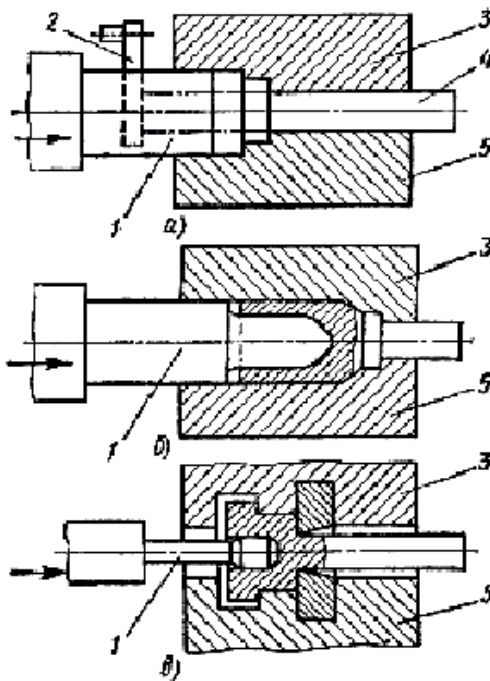


Рис. 3.34. Схема основных операций при штамповке на горизонтально-ковочной машине

Кинематическая схема ГKM дана на рис. 3.35. Главный ползун 7, несущий пуансон, приводится в движение от кривошипного вала 6 с помощью шатуна 5.

Подвижная щека 1 приводится от бокового ползуна 3 системой рычагов 2; боковой ползун, в свою очередь, – кулачками 4, сидящими на конце кривошипного вала машины.

Основные операции, выполняемые на ГKM: высадка (рис. 3.34, а) прошивка (рис. 3.34, б) и пробивка (рис. 3.34, в).

Получают изделия типа стержня с фланцем, кольца или стакана.

К **преимуществам** штамповки на ГKM можно отнести следующее:

1. Легкость штамповки таких деталей, которые на другом оборудовании рационально изготовить нельзя (поковки типа стержня с фланцем).
2. Т. к. штамп состоит из трех частей, напуски на поковках и штамповочные уклоны малы или отсутствуют.
3. Получение поволоков высокой точности.
4. Легкость автоматизации.
5. Безударную, спокойную и безопасную работу.



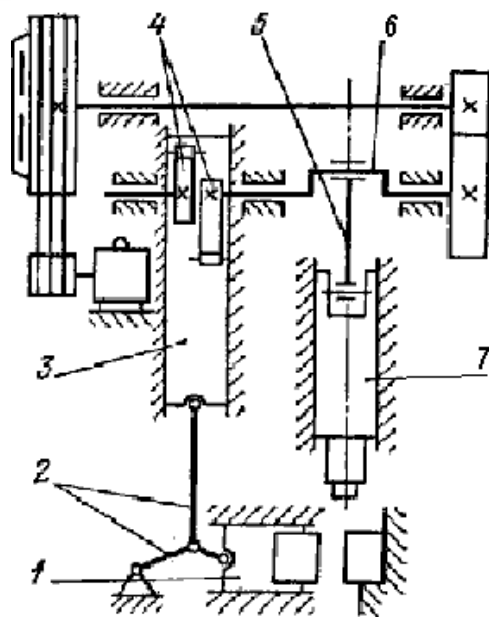


Рис. 3.35. Кинематическая схема горизонтально-ковочной машины

#### **Недостатки:**

1. Меньшая универсальность по сравнению с молотами и прессами; резко ограниченная номенклатура поковок; относительно небольшие размеры и масса поковок (до 150 кг).
2. Низкая стойкость штампов.
3. Необходимость очистки нагретого прутка от окалины.
4. Высокая стоимость (поковки примерно в 1,5 раза дороже, чем полученные на КГШП).

**Гидравлические штамповочные прессы.** Устройство этих прессов принципиально не отличается от ковочных. Усилие современных гидравлических прессов достигает 750 МН, т. е. они относятся к наиболее мощному штамповочному оборудованию.

На гидравлических прессах штампуют поковки типа дисков, коленчатых валов, различного рода рычагов, кронштейнов; толстостенных сферических днищ, стаканов, крупногабаритных панелей и рам из легких сплавов в самолетостроении. Исходной заготовкой является прокат и полуфабрикатковки.

#### **3.4.2. Холодная объемная штамповка**

Выполняется без нагрева, ниже температуры рекристаллизации.

Разновидности:

1. **Холодное выдавливание** – по схеме прессования, т. е. заготовку, отрезанную от прутка (не слиток), помещают в полость, из которой металл может выдавливаться в отверстия, имеющиеся в рабочем инструменте. Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание.

Холодным выдавливанием получают болты, тарельчатые клапаны, корпуса тьюбиков, тройники, крестовины и т. п.

2. **Холодная высадка** – по схеме штамповки на ГKM изготавливают гвозди, заклепки, шурупы, винты, болты, шарики, ролики, гайки, звездочки и т. п.

3. **Объемная формовка** – штамповка в открытых штампах, иногда за несколько переходов с промежуточным отжигом.

4. **Чеканка** – получение рельефа путем незначительных деформаций. Изготавливают монеты, медали, значки и т. п.

### 3.4.3. Холодная листовая штамповка

**Холодная листовая штамповка** – способ изготовления плоских и пространственных изделий с помощью штампов из листового материала, ленты или полосы. Обычно используют пластичные металлы и сплавы: малоуглеродистые стали, сплавы алюминия, меди, титана, магния и др.

Листовой металл толщиной свыше 15 мм, как правило, штампуют в горячем виде (**горячая листовая штамповка**).

Все операции холодной листовой штамповки разделяют на *разделительные*, в которых этап пластической деформации всегда завершается разрушением, и *формоизменяющие*, в которых заготовка не должна разрушаться в процессе деформирования.

#### 3.4.3.а. Разделительные операции

1. **Отрезка** – отделение части заготовки по замкнутому контуру в штампах или на машинах-ножницах.

##### Основные типы ножниц:

а) **Гильотинные** (рис. 3.36, а). Нож соприкасается с заготовкой в одной точке, следовательно, сопротивление срезанию минимально. Длина отрезаемой полосы  $L$  не должна превышать длины ножей.

б) **Дисковые** (рис. 3.36, б). Вращение дисковых ножей обеспечивает не только разделение, но и подачу заготовки действием сил трения. Длина отрезаемой полосы не ограничивается инструментом. Прямолинейность реза обеспечивается скольжением разделяемых частей заготовки по поверхностям ножей.

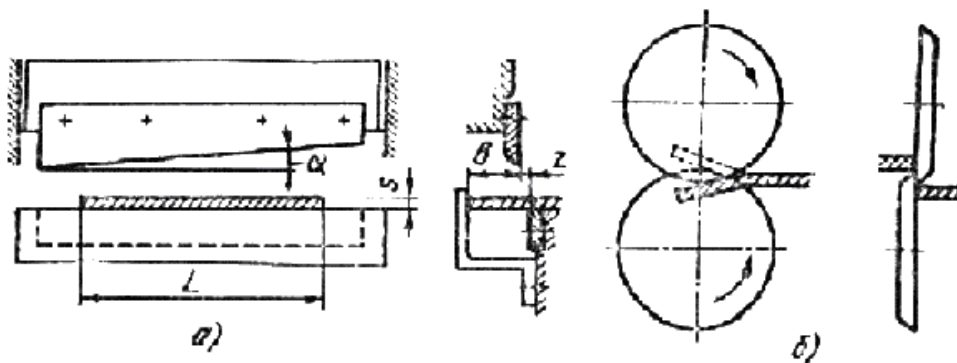


Рис. 3.36. Схемы действия ножниц: а – гильотинных; б – дисковых.

2. **Вырубка** – отделение части заготовки по замкнутому контуру, причем отделяемая часть идет на деталь (изделие), рис. 3.37.

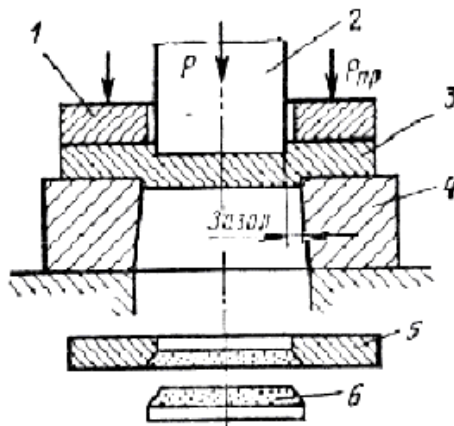


Рис. 3.37. Схема вырубki (пробивки):  
1 – прижим; 2 – пуансон; 3 – заготовка; 4 – матрица;  
5 – отход (изделие); 6 – изделие (отход)

3. **Пробивка** – образование в заготовке отверстия или паза с удалением части металла в отход.

Вырубку и пробивку осуществляют пуансоном и матрицей, конфигурации которых соответствуют конфигурации детали. Пуансон выдавливает часть заготовки в отверстие матрицы.

4. **Надрезка** – отделение части заготовки по незамкнутому контуру.

5. **Обрезка** – отделение краевой части заготовки для получения готового изделия.

#### 3.4.3.6. Формоизменяющие операции

Это операции, в результате которых изменяется форма заготовки путем пластического деформирования.

1. **Гибка** – изменение кривизны заготовки без изменения ее размеров (рис. 3.38).

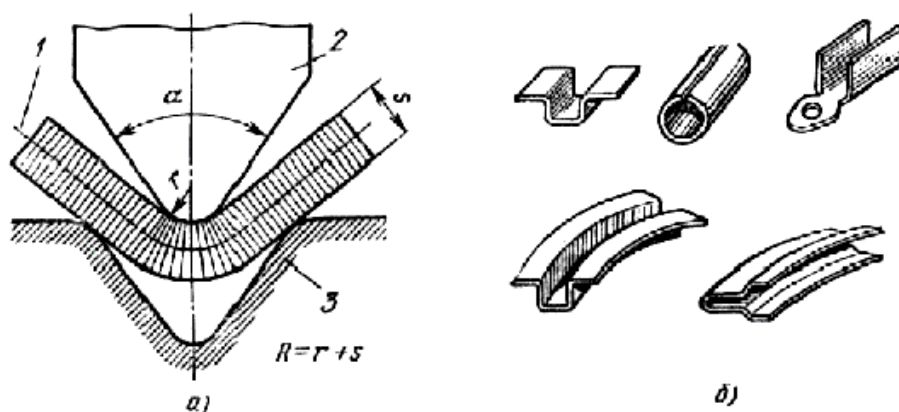


Рис. 3.38. Схема гибки (а) и изделия, получаемые с ее использованием (б):  
1 – нейтральный слой; 2 – пуансон; 3 – матрица

2. **Вытяжка** – получение полрой заготовки или изделия из плоской заготовки (рис. 3.39).

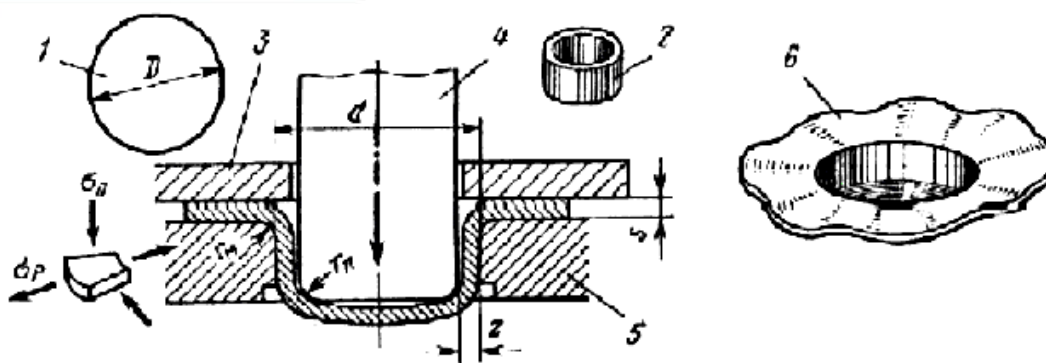


Рис. 3.39. Схема вытяжки:

1 – заготовка; 2 – изделие; 3 – прижим; 4 – пуансон; 5 – матрица;  
6 – изделие со складками, образующимися при вытяжке без прижима

3. **Протяжка** – вытяжка с утонением стенки (рис. 3.40, б). Исходная заготовка – предварительно вытянутое изделие. Зазор между пуансоном и матрицей меньше толщины стенки, которая, сжимаясь между поверхностями пуансона и матрицы, утоняется и одновременно удлиняется.

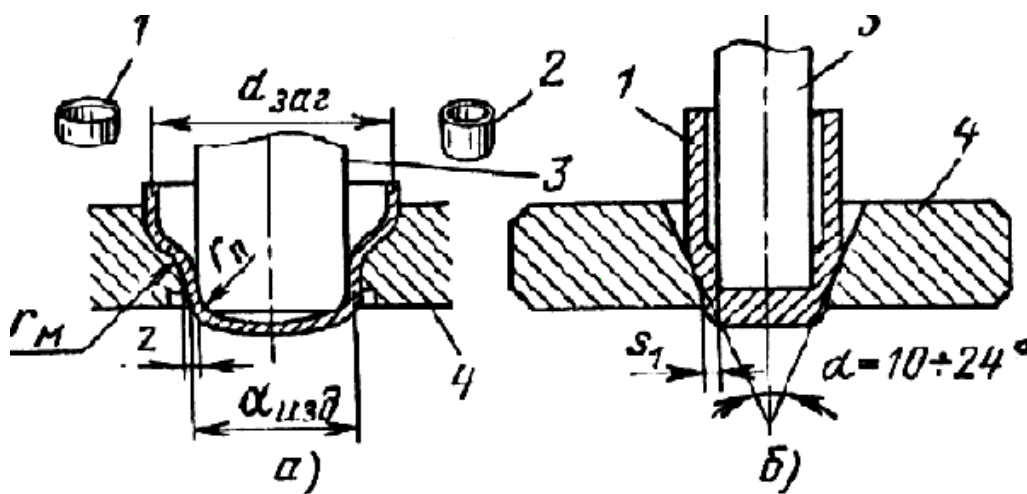


Рис. 3.40. Схемы последующей вытяжки (а) и вытяжки с утонением стенки (б):

1 – заготовка; 2 – изделие; 3 – пуансон; 4 – матрица

4. **Отбортовка** – получение бортов по внутреннему и (или) наружному контуру заготовки (рис. 3.41, а).

5. **Обжим** – уменьшение диаметра части полой заготовки путем проталкивания ее в сужающийся канал матрицы (рис. 3.41, б).

6. **Формовка** – получение рельефа незначительной высоты за счет местных деформаций (рис. 3.41, в). Применяется для получения ребер жесткости на плоских поверхностях, нанесения знаков, клейм, надписей и т. п. При деформировании может использоваться металлический пуансон, а также резиновая подушка или жидкость.



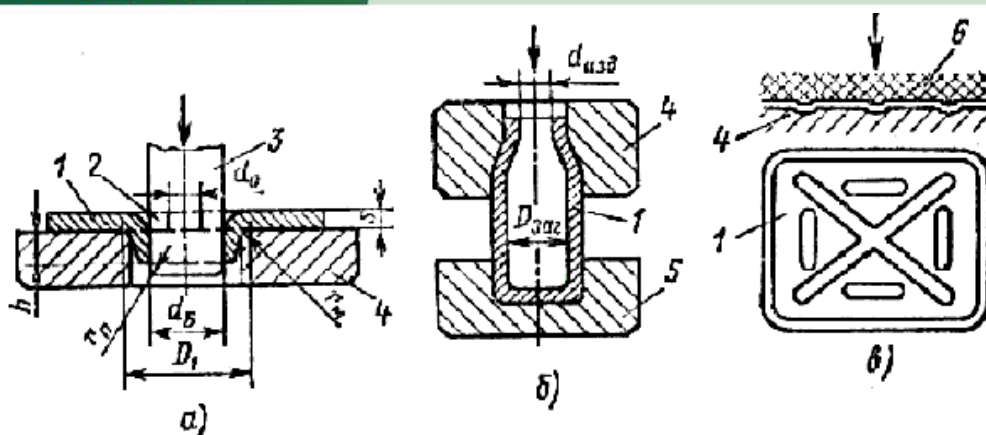


Рис. 3.41. Схемы отбортовки (а), обжима (б) и формовки (в):  
1 – изделие; 2 – заготовка; 3 – пуансон; 4 – матрица; 5 – подставка-упор;  
6 – резиновая подушка

### 3.4.3.в. Штампы для листовой штамповки

Штампы, применяемые для листовой штамповки, делятся на простые (однооперационные), штампы последовательного действия и штампы совмещенного действия. *Простые штампы* выполняют какую-либо одну операцию листовой штамповки.

*Штампы последовательного действия* за один ход пресса выполняют несколько операций листовой штамповки в различных позициях по направлению подачи, так что для очередной операции заготовка перемещается на шаг подачи. На рис. 3.42. показано, что в позиции I происходит пробивка, а после перемещения полосы на шаг подачи (позиция II) – вырубка, в результате чего получают изделие в виде шайбы.

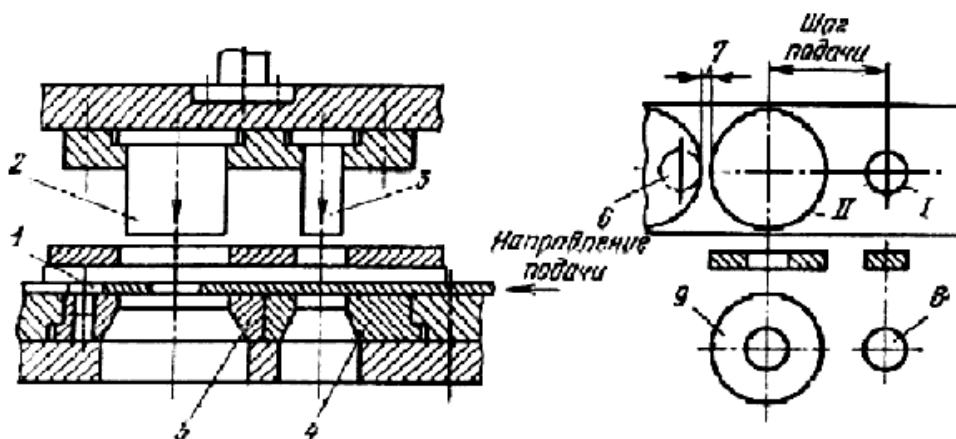


Рис. 3.42. Схема штампа последовательного действия для пробивки и вырубки:  
1 – упор; 2 – пуансон вырубки; 3 – пуансон пробивки; 4 – матрица пробивки;  
5 – матрица вырубки; 6 – упор; 7 – перемычка; 8 – отход; 9 – изделие

*Штампы совмещенного действия* выполняют за один ход ползуна несколько операций, без перемещения заготовки в направлении подачи (рис. 3.43).

Основным видом оборудования для листовой штамповки являются кривошипные и гидравлические прессы, а также ножницы. Для повышения производительности прессы оснащают устройствами, механизмирующими подачу заготовки к инструменту и удаление отштампованных деталей из прессы.

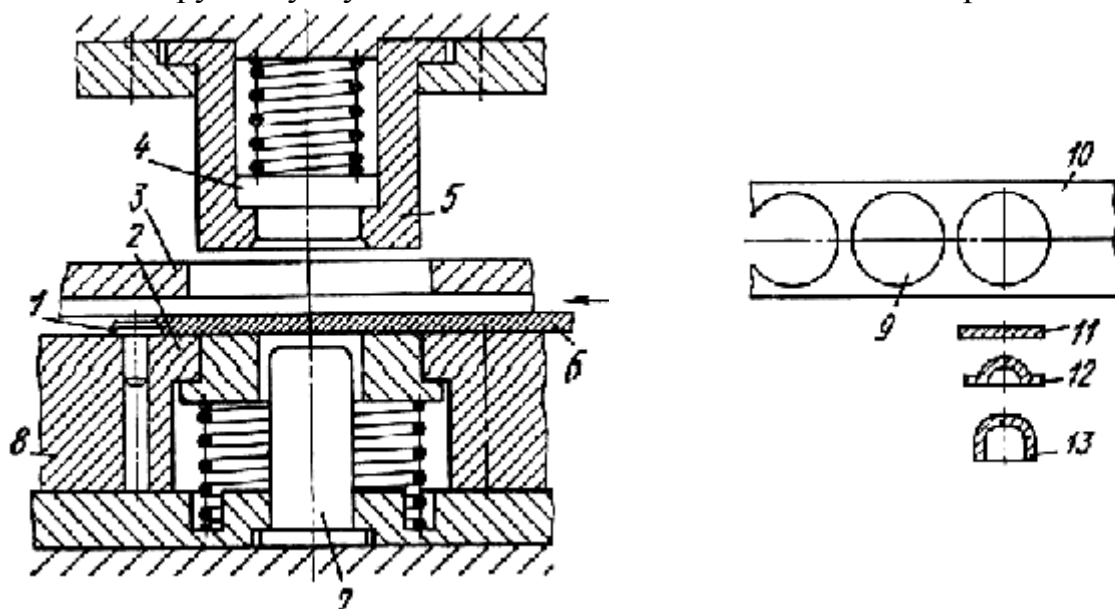


Рис. 3.43. Схема штампа совмещенного действия для вырубки и вытяжки:

1 – упор; 2 – прижим; 3 – съемник; 4 – выталкиватель; 5 – пуансон вырубки и матрица вытяжки; 6 – исходная листовая заготовка; 7 – пуансон вытяжки; 9 – отход; 10 – полоса; 11 – вырубленная заготовка; 12 – начало вытяжки, 13 – изделие

### 3.4.3.г. Высокоскоростная штамповка

Основными разновидностями высокоскоростной листовой штамповки являются штамповка взрывом, электрогидравлическая и электромагнитная.

*Взрывом штампуют* обычно в бассейне с водой (рис. 3.44). Заряд с детонатором подвешивают в воде над заготовкой, зажатой между матрицей и прижимом.

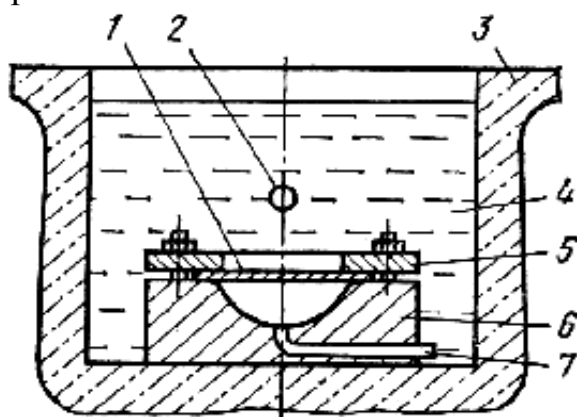


Рис. 3.44. Схема штамповки взрывом деталей из плоской заготовки:

1 – заготовка, 2 – заряд взрывчатого вещества, 3 – бассейн, 4 – передающая среда, 5 – прижимное кольцо, 6 – матрица, 7 – вакуумная система

Полость матрицы под заготовкой вакуумируется, чтобы воздух не препятствовал ее плотному прилеганию к матрице. Взрыв образует ударную волну, которая, достигая заготовки, вызывает ее разгон и деформацию. При штамповке взрывом не требуется дорогого прессового оборудования, конструкция штампа очень проста.

**Электрогидравлическую штамповку** также проводят в бассейне с водой. В результате кратковременного электрического разряда в жидкости возникает ударная волна, которая, дойдя до заготовки, деформирует ее по матрице. Мощный искровой разряд подобен взрыву.

Схема **электромагнитной штамповки** приведена на рис. 3.45.

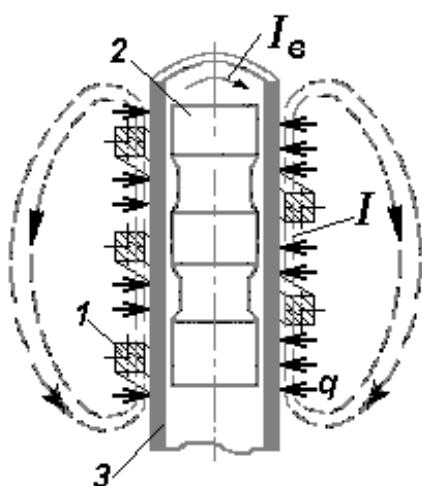


Рис. 3.45. Схема электромагнитной штамповки

Электрическая энергия преобразуется в механическую за счет импульсного разряда батареи конденсаторов через соленоид 1, вокруг которого при этом возникает мгновенное магнитное поле высокой мощности, наводящее вихревые токи  $I_v$  в трубчатой токопроводящей заготовке 3. Вихревые токи образуют свое магнитное поле, которое, взаимодействуя с полем соленоида, отталкивается от него и создает механические силы  $q$ , деформирующие заготовку по пуансону 2 или матрице. Для электромагнитной штамповки трубчатых и плоских заготовок созданы установки, на которых производят раздачу, обжим, формовку, пробивку, а также сборочные операции – пластическое деформирование одной детали по контуру другой.

#### 3.4.3.д. Техничко-экономическая характеристика и область применения листовой штамповки

К **достоинствам** листовой штамповки относятся:

1. Возможность получения деталей минимальной массы при заданной их прочности и жесткости.
2. Достаточно высокие точность размеров и качество поверхности.
3. Сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность: 30–40 тыс. деталей в смену с одной машины.
4. Хорошая приспособленность к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически целесообразной и в массовом, и в мелкосерийном производствах. Диапазон размеров штампуемых листовых деталей очень большой: по габаритным размерам – от долей мил-

лиметра (секундная стрелка ручных часов) до 6–7 метров (облицовка автомобиля, самолета, ракеты); по толщине – от десятых долей миллиметра до 100 мм и выше.

Листовую штамповку широко применяют в машиностроении, приборостроении, радиотехнической и электронной промышленности. Удельный вес листовой штамповки по расходу материалов в основных отраслях машиностроения и производства товаров народного потребления составляет 60–98 %.

### 3.5. Волочение

#### 3.5.1. Инструмент и оборудование

Процесс **волочения** заключается в протягивании заготовки через постепенно сужающееся отверстие в инструменте, называемом волокой. *Волока* (фильера, матрица) представляет собой кольцо (рис. 3.46, а), рабочее отверстие которого состоит из входной (или смазочной) зоны I, деформирующей зоны II, калибрующего пояска III и выходного конуса IV. Ее изготавливают из инструментальной стали, металлокерамических сплавов, и алмазов (для волочения проволоки диаметром менее 0,2 мм).

Волоочильные станы разделяют на два типа: барабанные и цепные.

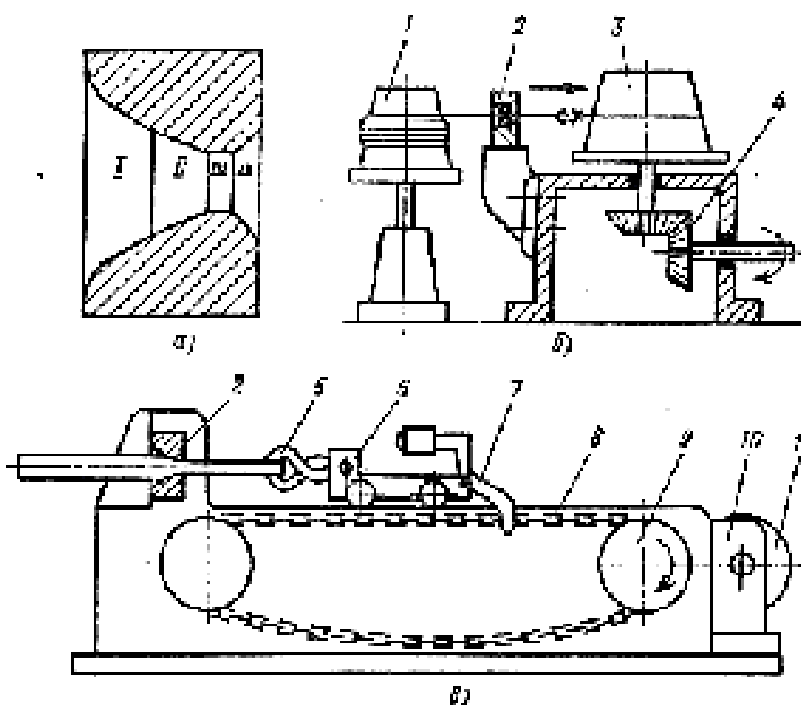


Рис. 3.46. Продольный разрез волоки (а) и схемы барабанного (б) и цепного (в) волоочильных станов

**Барабанные станы** (рис. 3.46, б) служат для волочения проволоки и труб небольшого диаметра, наматываемых на вертушку 1. Предварительно заостренный конец проволоки пропускается через отверстие волоки 2 и за-



крепляется на барабане 3, который приводится во вращение от электродвигателя через редуктор и зубчатую передачу 4. Существуют также станы многократного волочения, имеющие до 20 барабанов с установленными перед каждым из них волоками.

**Ценные станы** с прямолинейным движением тянущего устройства (рис. 3.46, в) применяют для волочения прутков и труб, которые не могут наматываться в бунты. На этом стане конец прутка пропускают через отверстие волоки 2 и захватывают клещами 5, которые закреплены на каретке 6. Каретка через тяговый крюк 7 перемещается пластинчатой цепью 8, приводимой в движение от звездочки 9, которая вращается от электродвигателя 11 через редуктор 10.

Волочение, как правило, осуществляют в холодном состоянии, а потому оно сопровождается упрочнением (наклепом) металла. Исходными заготовками служат прокатанные или прессованные прутки и трубы из стали, цветных металлов и их сплавов. Величина деформации за один проход ограничена:  $\mu = 1,25\text{--}1,45$ . Если для получения необходимых профилей требуется большая деформация, то применяют волочение за несколько переходов протягиванием через ряд постепенно уменьшающихся по величине отверстий. Для снятия наклепа после каждого перехода металл подвергают промежуточному отжигу. Для уменьшения силы трения металла об инструмент полируют отверстие в волоке и применяют различные смазки – минеральные масла, олифу, графит, тальк, мыла, фосфатные и металлические покрытия и др.

### 3.5.2. Продукция, получаемая волочением

Сортамент изделий, изготовленных волочением, очень разнообразен: проволока 0,002–10 мм и фасонные профили (рис. 3.47, б), трубы диаметром от 0,3 до 500 мм с толщиной стенки от 0,05 до 5–6 мм.

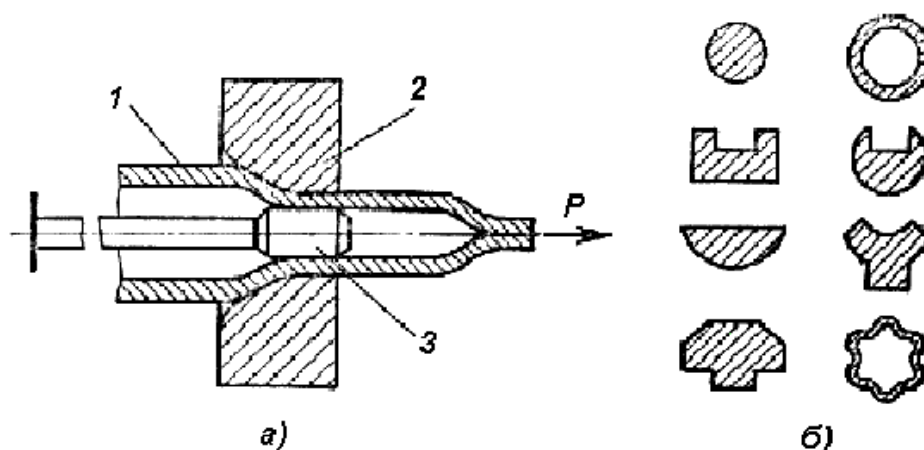


Рис. 3.47. Схема волочения трубы (а)  
и примеры профилей, получаемых волочением (б)

Волочение труб можно выполнять без оправки, для уменьшения только внешнего диаметра (*редуцирование*), и с оправкой (для уменьшения внешнего диаметра и толщины стенки). На рис. 3.47, а, показана схема волочения трубы 1 на длинной закрепленной оправке 3. В этом случае профиль полученной трубы определяется зазором между волокой 2 и оправкой 3. Волочение обеспечивает высокую точность размеров (стальная проволока диаметром 1,0–1,6 мм имеет допуск 0,02 мм), высокое качество поверхности, получение очень тонких профилей. Метод дает возможность широко варьировать (за счет наклепа, а также термической обработки) диапазон прочностных и пластических свойств металла готового изделия, резко сокращает отходы и увеличивает производительность. Отличительной чертой процесса волочения является его универсальность (простота и быстрота замены инструмента), что делает его очень распространенным.

### 3.6. Прессование

**Прессование** – процесс получения изделий путем выдавливания нагретого металла из замкнутой полости через отверстие инструмента. Существуют 2 метода прессования: прямой и обратный (рис. 3.48). При *прямом прессовании* металл выдавливается в направлении движения пуансона. При *обратном прессовании* металл движется из контейнера навстречу движению пуансона.

#### 3.6.1. Оборудование и инструмент

Для прессования применяют гидравлические прессы с горизонтальным или вертикальным расположением пуансона.

Инструмент для прессования состоит из *контейнера*, *матрицы*, *пуансона* (*штемпеля*), *иглы* и *иглодержателя* (при прессовании полых профилей и труб). Инструмент работает в очень тяжелых условиях: при температурах 800–1200 °С и при высоких удельных нагрузках. Его изготавливают из высококачественных инструментальных сталей и жаропрочных сплавов. Износ инструмента уменьшают применением смазок: графит, стекло, порошки меди, никеля, окись цинка, дисульфид молибдена и др.

#### 3.6.2. Особенности прессования. Применение

При прессовании реализуется схема *всестороннего неравномерного сжатия*, при которой даже хрупкие материалы типа мрамора и малопластичные металлы и сплавы имеют весьма высокую пластичность. То есть прессованием можно обрабатывать материалы, которые ввиду их низкой пластичности другими методами деформировать невозможно (чугуны и др.). Коэффициент вытяжки  $\mu$  при прессовании может быть равным 30–50.

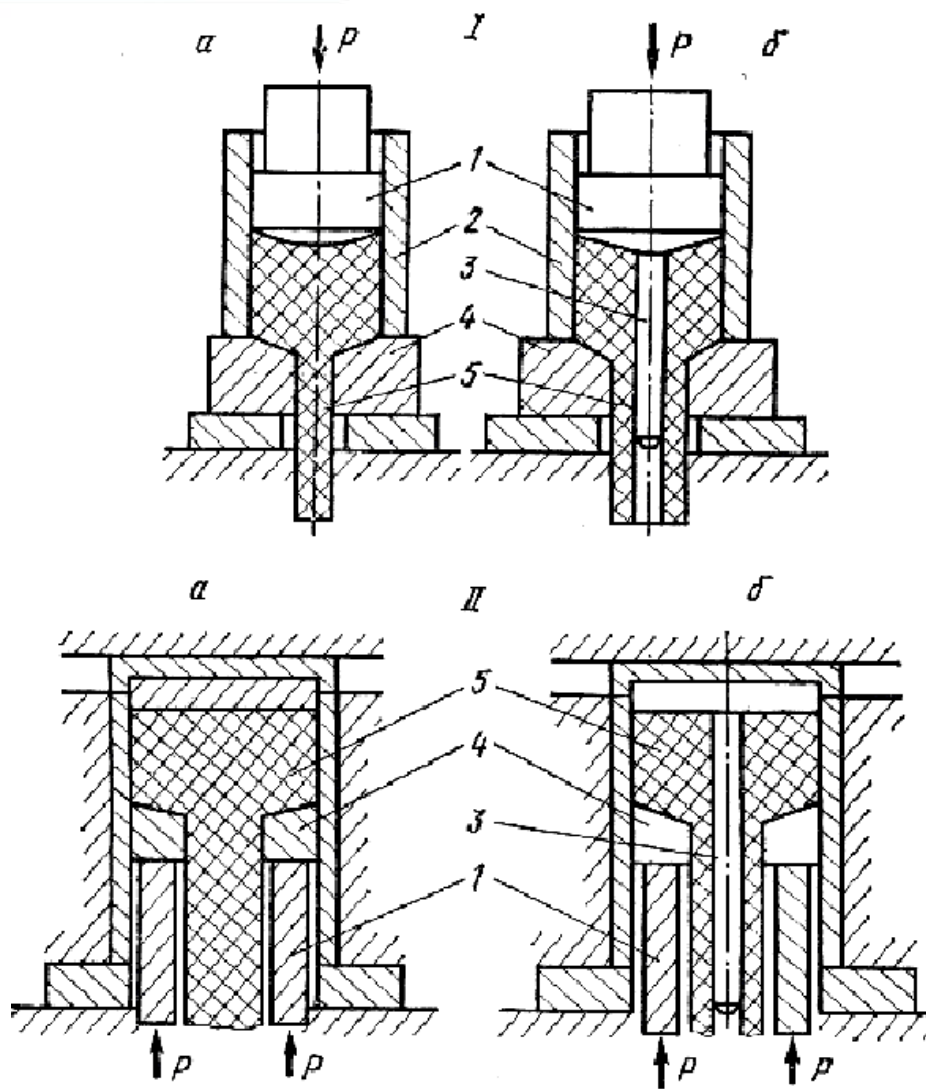


Рис. 3.48. Методы прямого (I) и обратного (II) прессования прутков (а) и труб (б):  
1 – штемпель; 2 – контейнер; 3 – трубная оправка (игла); 4 – матрица;  
5 – прессуемый металл

Прессованием получают простые профили (круг, квадрат) и профили очень сложных форм, которые нельзя получить другими видами ОМД (рис. 3.49).

К **преимуществам** прессования относятся следующие. Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных. Процесс универсален с точки зрения перехода с размера на размер и с одного типа профиля на другой. Смена инструмента не требует больших затрат времени.

Возможность достижения очень высоких степеней деформации делает этот процесс высокопроизводительным. Скорости прессования достигают 5 м/с и более.

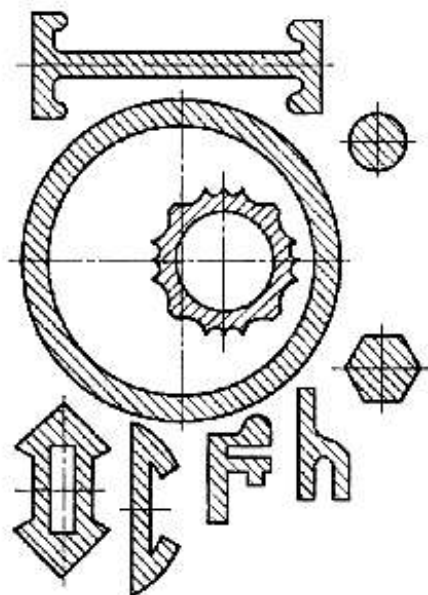


Рис. 3.49. Прессованные профили

Из **недостатков** следует указать: повышенный отход материала в *пресс-остаток* (10–20 %), т. к. весь металл не может быть выдавлен из контейнера; неравномерность деформации в контейнере; высокую стоимость и расход инструмента; повышенные энергозатраты.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов Б.И. Обработка металлов резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учеб. пособие. — М.: Машиностроение, 1981. — 287 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник. — М.: Металлургия, 1986. — 544 с.
3. Полухин П.И. и др. Технология металлов и сварка: Учебник / П.И. Полухин, Б.Г. Гринберг, В.Т. Жадан. — М.: Высшая школа, 1977. — 444 с.
4. Проников А.С. Металлорежущие станки и автоматы: Учебник. — М.: Машиностроение, 1981. — 479 с.
5. Солнцев Ю.П., Веселов В.А. Металловедение и технология металлов: Учебник. — М.: Высшая школа, 1977. — 464 с.
6. Технология конструкционных материалов: Учебник / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др.; Под ред. А.М. Дальского. — М.: Машиностроение, 1992. — 448 с.
7. Технология металлов и материаловедение: Учебник / Б.В. Кнорозов, Л.Ф. Усова, А.В. Третьяков и др.; Под ред. Л.Ф. Усовой. — М.: Металлургия, 1987. — 800 с.
8. Справочник сварщика / Ю.А. Данисов, Г.Н. Кочева, Ю.А. Маслов и др. — М.: Машиностроение, 1983. — 556 с.





## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. МЕТАЛЛУРГИЯ.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Современное металлургическое производство чугуна и стали .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Материалы для производства чугуна и стали.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3. Производство чугуна .....</b>	<b>6</b>
1.3.1. Технология доменной плавки.....	6
1.3.2. Устройство и работа доменной печи .....	7
1.3.3. Реакции металлургического процесса доменной печи .....	8
1.3.4. Продукты доменной плавки .....	9
1.3.5. Техничко-экономические показатели доменной печи .....	10
<b>1.4. Производство стали .....</b>	<b>11</b>
1.4.1. Сущность процесса.....	11
1.4.2. Производство стали в конверторах .....	11
1.4.3. Производство стали в мартеновских печах.....	15
1.4.4. Производство стали в электропечах .....	19
1.4.5. Разливка стали на слитки .....	24
1.4.6. Способы повышения качества стали .....	25
<b>1.5. Производство цветных металлов.....</b>	<b>26</b>
1.5.1. Производство меди .....	26
1.5.2. Производство алюминия .....	28
<b>1.6. Порошковая металлургия .....</b>	<b>30</b>
<b>2. ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....</b>	<b>34</b>
<b>2.1. Плавильные агрегаты.....</b>	<b>34</b>
<b>2.2. Литейные свойства сплавов.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3. Литье в песчаные формы .....</b>	<b>37</b>
2.3.1. Свойства формовочных смесей.....	39
2.3.2. Ручная формовка.....	40
2.3.3. Машинная формовка .....	40
2.3.4. Техничко-экономическое обоснование литья в песчано-глинистые формы ..	42
<b>2.4. Специальные способы литья .....</b>	<b>42</b>
2.4.1. Литье в оболочковые формы .....	43
2.4.2. Литье по выплавляемым моделям.....	44



2.4.3. Литье в металлические формы .....	46
2.4.4. Литье под давлением .....	48
2.4.5. Центробежное литье .....	49
2.4.6. Другие способы литья .....	51
<b>2.5. Дефекты отливок.....</b>	<b>54</b>
<b>2.6. Отходы литейного производства.....</b>	<b>57</b>
<b>3. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (ОМД).....</b>	<b>58</b>
<b>3.1. Теоретические основы обработки металлов давлением.....</b>	<b>58</b>
3.1.1. Зависимость свойств деталей от направления волокон в металле .....	61
3.1.2. Нагрев металла под обработку давлением .....	61
3.1.3. Нагревательные устройства .....	63
<b>3.2. Прокатка .....</b>	<b>66</b>
3.2.1. Продукция прокатного производства .....	67
3.2.2. Инструмент и оборудование для прокатки .....	68
3.2.3. Производство сортового проката .....	71
3.2.4. Производство листового проката .....	71
3.2.5. Производство труб .....	72
3.2.6. Производство проволоки.....	73
3.2.7. Производство специальных видов проката .....	73
3.2.8. Производство гнутых профилей.....	75
<b>3.3. Ковка.....</b>	<b>76</b>
3.3.1. Операции ковки.....	77
3.3.2. Особенности конструирования деталей, изготавливаемых свободной ковкой	80
3.3.3. Механизация ковки .....	82
<b>3.4. Штамповка .....</b>	<b>82</b>
3.4.1. Горячая объемная штамповка .....	83
3.4.2. Холодная объемная штамповка .....	89
3.4.3. Холодная листовая штамповка .....	90
<b>3.5. Волочение.....</b>	<b>96</b>
3.5.1. Инструмент и оборудование .....	96
3.5.2. Продукция, получаемая волочением .....	97
<b>3.6. Прессование.....</b>	<b>98</b>
3.6.1. Оборудование и инструмент .....	98
3.6.2. Особенности прессования. Применение.....	98
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>100</b>



**Константин Георгиевич Герасимович  
Юрий Александрович Евтюшкин  
Николай Ильич Фомин  
Ирина Александровна Хворова**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Часть 1**

Учебное пособие

Редактор О.В. Васильева

Подписано к печати  
Формат 60х84/16. Бумага ксероксная.  
Плоская печать. Усл.печ.л. 5,99. Уч.-изд.л. 5,42.  
Тираж            экз. Заказ            . Цена Свободная.  
ИПФ ТПУ. Лицензия ЛТ N1 от 18.07.94.  
Ротапринт ТПУ. 634034, Томск, пр. Ленина, 30.