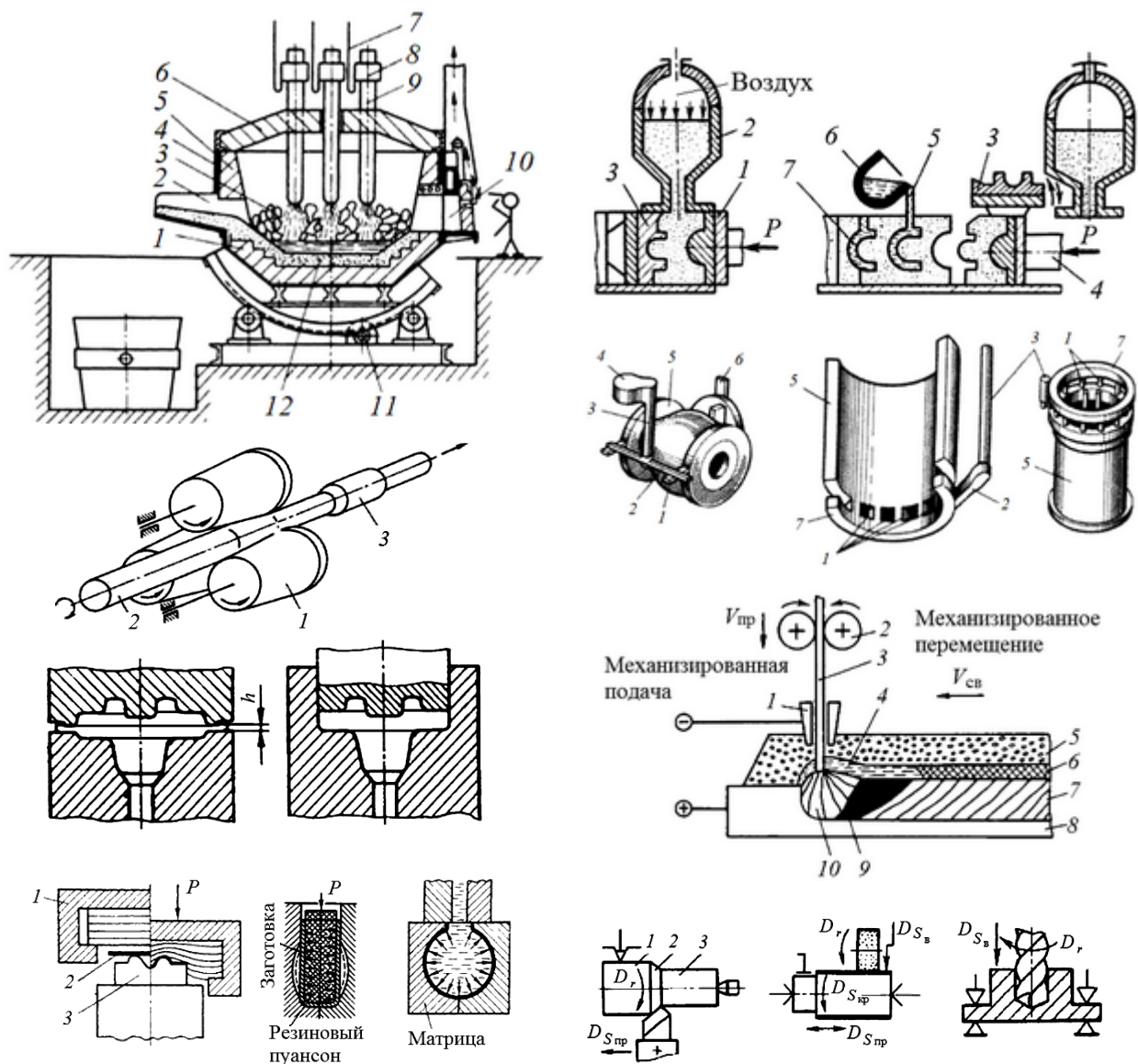


Д. М. Дубинкин
 Г. М. Дубов
 Л. В. Рыжикова

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ



Кемерово 2010

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет»

Д. М. Дубинкин
Г. М. Дубов
Л. В. Рыжикова

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Кемерово 2010

УДК 620.22(075.8)

Рецензенты:

Начальник отдела системы менеджмента качества ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности», доктор технических наук, профессор *Л. М. Захарова*

Заведующий кафедрой технологии металлов и ремонта машин ФГОУ ВПО «Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт», кандидат технических наук, доцент *А. П. Черныш*

Дубинкин, Д. М. **Технология конструкционных материалов** : учеб. пособие / Д. М. Дубинкин, Г. М. Дубов, Л. В. Рыжикова ; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2010. – 206 с.

ISBN 978-5-89070-748-2

Учебное пособие подготовлено по дисциплине «Технология конструкционных материалов». Написано с учетом современного состояния машиностроительного производства. Даны общие понятия и определения по технологии машиностроения. Рассмотрены вопросы производства металлов и сплавов, методы изготовления заготовок и обработки их резанием. Приводятся методы получения неразъемных соединений, применяемые для изготовления металлических конструкций, заготовок и деталей машин. Рассмотрены основные способы физико-химической обработки, применяемые для изготовления изделий из труднообрабатываемых материалов.

Предназначено для студентов специальностей 151001, 151002, 190601, 150402, 140604, 150202, 130402, 130403, 130404, 130405, 280102, магистрантов направления 150900, 130400, а также для специалистов машиностроительных предприятий.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Кузбасского государственного технического университета.

УДК 620.22(075.8)

© Дубинкин Д. М., Дубов Г. М.,
Рыжикова Л. В., 2010

© Кузбасский государственный
технический университет, 2010

ISBN 978-5-89070-748-2

НАСТАВНИКУ И УЧИТЕЛЮ

ЗАВ. КАФЕДРОЙ «ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ» (1975–1982)

ДОЦЕНТУ

ЛЮДВИГУ ОТТОВИЧУ ГЕРИКЕ

ПОСВЯЩАЕТСЯ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решение технических проблем, возникающих в области машиностроения и связанных с ресурсосбережением материалов, уменьшением массы, надежностью и работоспособностью деталей машин и механизмов, во многом зависит от рационального выбора технологического процесса изготовления заготовок и изделий.

В данном учебном пособии рассмотрены вопросы курсов «Технология конструкционных материалов», «Технологические процессы машиностроительного производства» и раздела «Технология конструкционных материалов» учебного курса «Материаловедение и технология конструкционных материалов» для студентов технических специальностей. Цель этих курсов – получение знаний о современных методах получения конструкционных материалов и изготовления из них деталей машин с помощью литья, обработки давлением, сварки и обработки резанием, которые необходимы для формирования технического кругозора инженера, конструктора, технолога. К основным задачам курсов относится ознакомление с основами рационального выбора конструкционных материалов и изучение методов их получения и обработки. Это объясняется тем, что проблема рационального выбора технологии изготовления машиностроительных изделий – одна из основных в современном промышленном производстве. Без знаний в области технологии материалов решить ее невозможно.

Учебное пособие состоит из пяти глав. Первая глава посвящена металлургическому производству конструкционных материалов. Приведены исходные материалы для плавки и основные этапы получения металлов и сплавов. Во второй главе отражены методы изготовления заготовок в литейном производстве. В третьей главе рассмотрены методы обработки металлов давлением и формообразования машиностроительных профилей и заготовок деталей машин. В четвертой главе приведены методы получения неразъемных соединений. В пятой главе рассмотрены основные методы формообразования поверхности деталей машин и способы физико-химической обработки материалов, применяемые для получения изделий, изготовленных из труднообрабатываемых материалов. Описаны дефекты, возникающие в процессе изготовления различных полуфабрикатов и готовых изделий.

Учебное пособие может оказаться полезным при написании контрольной и курсовой работы, при подготовке к экзамену, а также при выполнении дипломного проекта и успешной работы на производстве.

1. ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1. Современное металлургическое производство и его продукция

Современное металлургическое производство представляет собой комплекс различных производств (рис. 1), базирующихся на месторождениях руд и коксующихся углей, энергетических комплексах и т.д.



Рис. 1. Схема металлургического производства

Металлургическое производство включает:

- шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей;
- горно-обогатительные комбинаты, где обогащают руды, подготавливая их к плавке;
- коксохимические заводы (подготовка углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов);
- энергетические цехи для получения сжатого воздуха (для дутья доменных печей), кислорода, очистки металлургических газов;

- доменные цехи для выплавки чугуна и ферросплавов или цехи для производства железорудных металлизированных окатышей;
- заводы для производства ферросплавов;
- сталеплавильные цехи (конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные);
- прокатные цехи (слиток в сортовой прокат).

Основная продукция черной металлургии:

- чугуны: передельный, используемый для передела на сталь, и литейный, для производства фасонных отливок;
- железорудные металлизированные окатыши для выплавки стали;
- ферросплавы (сплавы железа с повышенным содержанием марганца, кремния, ванадия, титана и т.д.) для легированных сталей;
- стальные слитки для производства проката;
- слитки, полученные непрерывной разливкой, для изготовления заготовок на машиностроительных заводах;
- кузнечные слитки для изготовления крупных кованных валов, дисков.

Основная продукция цветной металлургии:

- слитки цветных металлов для производства проката;
- лигатуры – сплавы цветных металлов с легирующими элементами для производства сложных легированных сплавов;
- слитки чистых и особо чистых металлов для приборостроения и электротехники.

1.2. Материалы для производства металлов и сплавов

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют руду, флюсы, топливо, огнеупорные материалы.

Промышленная руда – горная порода, из которой целесообразно извлекать металлы и их соединения (содержание металла в руде должно быть не менее 30÷60 % для железа, 3÷5 % для меди, 0,005÷0,02 % для молибдена). Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединения, и пустой породы. Называют руду по одному или нескольким металлам, входящим в их состав, например: железные, медно-никелевые.

В зависимости от содержания добываемого элемента различают руды богатые и бедные. Бедные руды обогащают путем удаления части пустой породы. При производстве чугуна руду вводят в виде агломерата и окатышей.

Флюсы – материалы, загружаемые в плавильную печь для образования легкоплавкого соединения с пустой породой руды или концентратом и золой топлива. Такое соединение называется шлаком.

Обычно шлак имеет меньшую плотность, чем металл, поэтому он располагается над металлом и может быть удален в процессе плавки. Шлак защищает металл от печных газов и воздуха. Шлак называют кислым, если в его составе преобладают кислотные оксиды (SiO_2 , P_2O_5), и основным, если в его составе больше основных оксидов (CaO , MgO , FeO).

Топливо – в металлургических печах используется кокс, природный газ, мазут, доменный (колошниковый) и генераторный газ.

Кокс получают сухой перегонкой при температуре 1000 °С (без доступа воздуха) каменного угля коксующихся сортов. В коксе содержится 80÷88 % углерода, 8÷12 % золы, 2÷5 % влаги. Куски кокса должны иметь размеры 25÷60 мм. Это прочное неспекающееся топливо, служит не только горючим для нагрева, но и химическим реагентом для восстановления железа из руды.

Огнеупорные материалы применяют для изготовления внутреннего облицовочного слоя (футеровки) металлургических печей и ковшей для расплавленного металла. Они способны выдержать нагрузки при высоких температурах, противостоять резким изменениям температуры, химическому воздействию шлака и печных газов.

По химическим свойствам огнеупорные материалы разделяют на группы: кислые (кварцевый песок, диносовый кирпич), основные (магнезитовый кирпич, магнезитохромитовый кирпич), нейтральные (шамотный кирпич). Взаимодействие основных огнеупорных материалов и кислых шлаков, и наоборот, может привести к разрушению печи.

Углеродистый кирпич и блоки содержат до 92 % углерода в виде графита, обладают повышенной огнеупорностью. Применяются для кладки лещади доменных печей, электролизных ванн для получения алюминия, тиглей для плавки и разливки медных сплавов.

1.3. Производство чугуна

Чугун – сплав железа и углерода с сопутствующими элементами (содержание углерода более 2,14 %).

Для выплавки чугуна в доменных печах используют железные руды, топливо, флюсы.

К железным рудам относятся:

– магнитный железняк (Fe_3O_4) с содержанием железа $55\div 60\%$, месторождения: Соколовское, Курская магнитная аномалия (КМА);

– красный железняк (Fe_2O_3) с содержанием железа $55\div 60\%$, месторождения: Кривой Рог, КМА;

– бурый железняк (гидраты оксидов железа $2Fe_2O_3\cdot 3H_2O$ и $Fe_2O_3\cdot H_2O$) с содержанием железа $37\div 55\%$, месторождение Керчь.

Марганцевые руды применяются для выплавки сплава железа с марганцем – ферромарганца ($10\div 82\%$), а также передельных чугунов, содержащих до 1% марганца. Марганец в рудах содержится в виде окислов и карбонатов: MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , $MnCO_3$ и др.

Хромовые руды применяются для производства феррохрома, металлического хрома и огнеупорных материалов – хромомagneзитов.

Топливом для доменной плавки служит кокс, возможна частичная замена газом, мазутом.

Флюсом является известняк $CaCO_3$ или доломитизированный известняк, содержащий $CaCO_3$ и $MgCO_3$, так как в шлак должны входить основные оксиды (CaO , MgO), которые необходимы для удаления серы из металла.

Подготовка руд к доменной плавке осуществляется для повышения производительности доменной печи, снижения расхода кокса и улучшения качества чугуна. Метод подготовки зависит от качества руды.

Дробление и сортировка руд по крупности служат для получения кусков оптимальной величины, осуществляются с помощью дробилок и классификаторов.

Обогащение руды основано на различии физических свойств минералов, входящих в ее состав:

а) промывка – отделение плотных составляющих от пустой рыхлой породы;

б) гравитация (отсадка) – отделение руды от пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита: пустая порода вытесняется в верхний слой и уносится водой, а рудные минералы опускаются;

в) магнитная сепарация – измельченную руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы и отделяющего их от пустой породы.

Окусковывание производят для переработки концентратов в кусковые материалы необходимых размеров. Применяют два способа окусковывания: агломерацию и окатывание.

При агломерации шихту, состоящую из железной руды (40÷50 %), известняка (15÷20 %), возврата мелкого агломерата (20÷30 %), коксовой мелочи (4÷6 %), влаги (6÷9 %), спекают на агломерационных машинах при температуре 1300÷1500 °С. При спекании из руды удаляются вредные примеси (сера, мышьяк), разлагаются карбонаты, и получается кусковой пористый офлюсованный агломерат.

При окатывании шихту из измельченных концентратов, флюса, топлива увлажняют, и при обработке во вращающихся барабанах она приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Их высушивают и обжигают при температуре 1200÷1350 °С.

Использование агломерата и окатышей исключает отдельную подачу флюса – известняка в доменную печь при плавке.

1.3.1. Выплавка чугуна

Чугун выплавляют в печах шахтного типа – *доменных печах*.

Доменный цех завода с полным металлургическим циклом имеет, как правило, не менее 3 доменных печей с воздухонагревателями и системой газоочистки. Запас шихты (кокса, агломерата или руды, а также флюсов) хранится в бункерах эстакады (общей для всех доменных печей). На многих металлургических заводах в состав доменного цеха (рис. 2) входит так называемый рудный двор, где хранится основной запас железных руд, укладываемых в штабеля рудными перегружателями. В доменном цехе имеются также машины для разлива чугуна.

Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды оксидом углерода, водородом и твердым углеродом, выделяющимся при сгорании топлива.

При выплавке чугуна решаются задачи:

– восстановление железа из окислов руды, науглероживание его и удаление в виде жидкого чугуна определенного химического состава;

– оплавление пустой породы руды, образование шлака, растворение в нем золы кокса и удаление его из печи.

Доменная печь (рис. 3) имеет стальной кожух, выложенный 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 ко-

торый в печь загружают шихту. Шихту подают в вагонетки 9 подъемника, которые передвигаются по мосту 12 к засыпному аппарату и, опрокидываясь, высыпают шихту в приемную воронку 7 распределителя шихты. При опускании малого конуса 10 шихта попадает в чашу 11, а при опускании большого конуса 13 – в доменную печь, что предотвращает выход газов из доменной печи в атмосферу.

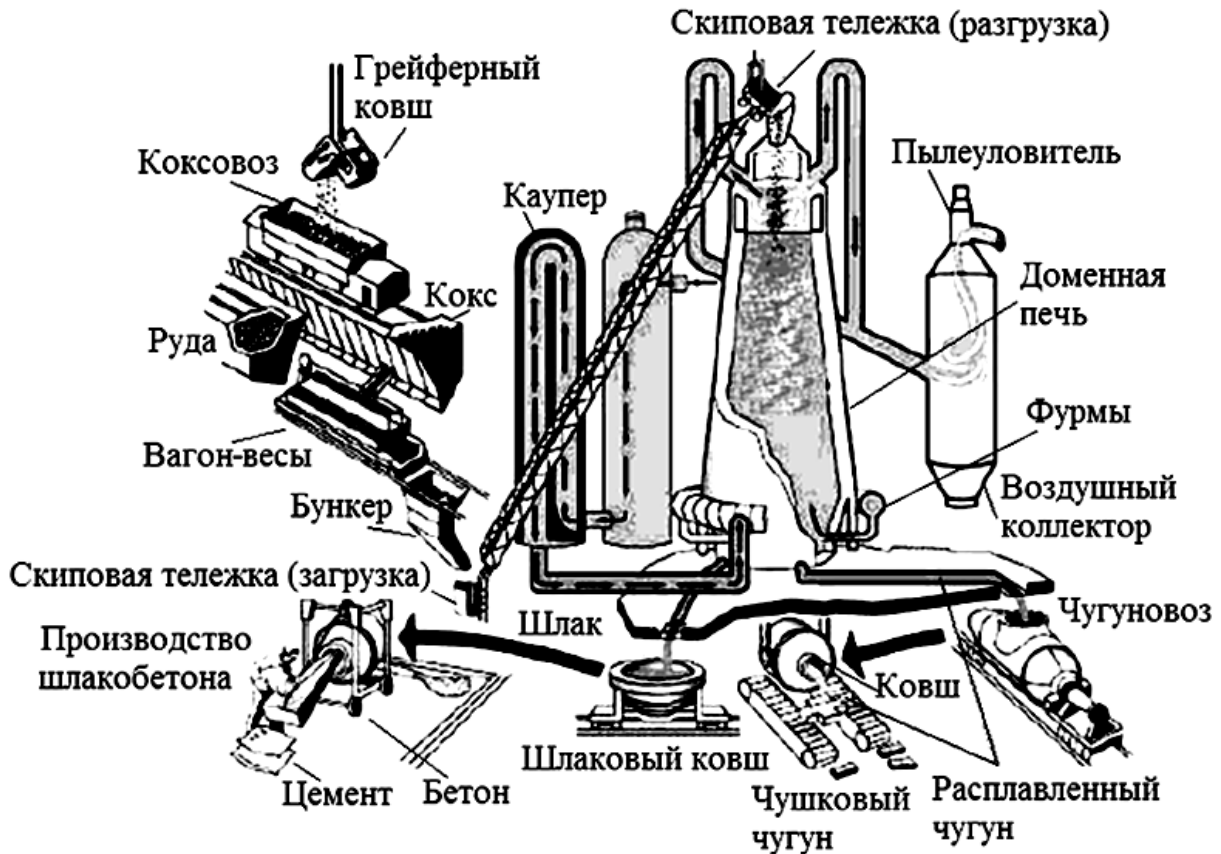


Рис. 2. Доменный цех

При работе печи шихтовые материалы, проплавляясь, опускаются, а через загрузочное устройство подают новые порции шихты, чтобы весь полезный объем был заполнен.

Полезный объем печи – объем, занимаемый шихтой от лещади до нижней кромки большого конуса засыпного аппарата при его опускании. Полезная высота доменной печи (H) достигает 35 м, а полезный объем (V) – $2000 \div 5000 \text{ м}^3$.

В верхней части горна находятся фурменные устройства 14, через которые в печь поступает нагретый воздух, необходимый для горения топлива. Воздух поступает из воздухонагревателя, внутри которого имеются камера сгорания и насадка из огнеупорного кирпича, в которой расположены вертикальные каналы. В камеру сгорания к горелке подается очищенный доменный газ, который, сгорая, образует горячие газы. Проходя через насадку, газы нагревают ее и удаляются через дымовую

трубу. Через насадку пропускается воздух, он нагревается до температуры $1000 \div 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ и поступает к фурменному устройству, а оттуда через фурмы 2 – в рабочее пространство печи. После охлаждения насадок нагреватели переключаются.

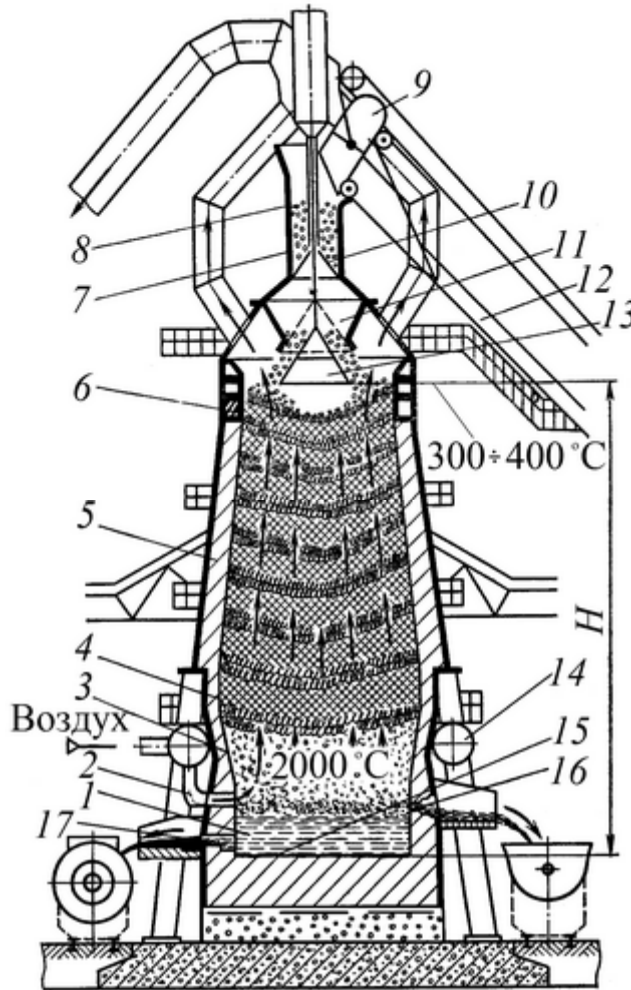
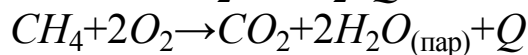
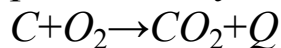
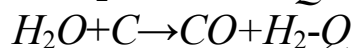
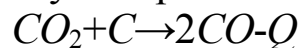


Рис. 3. Устройство доменной печи

Горение топлива. Вблизи фурм природный газ и углерод кокса, взаимодействуя с кислородом воздуха, сгорают:



В результате горения выделяется большое количество теплоты, в печи выше уровня фурм развивается температура выше $2000 \text{ }^\circ\text{C}$. Продукты сгорания взаимодействуют с раскаленным коксом по реакциям:



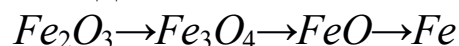
Образуется смесь восстановительных газов, в которой окись углерода CO является главным восстановителем железа из его оксидов. Для увеличения производительности подаваемый в доменную печь воздух увлажняется, что приводит к увеличению содержания восстановителя.

Горячие газы, поднимаясь, отдают теплоту шихтовым материалам и нагревают их, охлаждаясь до 300÷400 °С у колошника.

Шихта (агломерат, кокс) опускается навстречу потоку газов, и при температуре около 570 °С начинается восстановление оксидов железа.

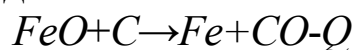
Восстановление железа в доменной печи. Закономерности восстановления железа выявлены академиком А. А. Байковым.

Восстановление железа происходит по мере продвижения шихты вниз по шахте и повышения температуры от высшего оксида к низшему в несколько стадий:

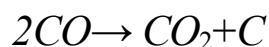


Температура определяет характер протекания химических реакций.

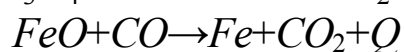
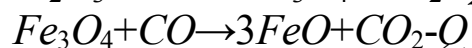
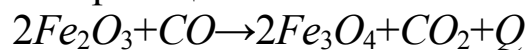
Восстановителями оксидов железа являются твердый углерод, оксид углерода и водород. Восстановление твердым углеродом (коксом) называется *прямым восстановлением*, протекает в нижней части печи (зона распара), где более высокие температуры, по реакции:



Сажистый углерод осаждается на кусках руды и является главным реагентом прямого восстановления, который образуется в верхней части печи, по реакциям:



Восстановление газами (CO и H_2) называется *косвенным восстановлением*, протекает в верхней части печи при сравнительно низких температурах по реакциям:



За счет CO и H_2 восстанавливаются все высшие оксиды железа до низшего и 40÷60 % металлического железа.

При температуре 1000÷1100 °С восстановленное из руды твердое железо, взаимодействуя с оксидом углерода, коксом и сажистым углеродом, интенсивно растворяет углерод. При насыщении углеродом температура плавления понижается и на уровне распара и заплечиков железо расплавляется при температуре около 1300 °С. Капли железоуглеродистого сплава, протекая по кускам кокса, дополнительно насыщаются углеродом (до 4 %), марганцем, кремнием, фосфором, которые при температуре 1200 °С восстанавливаются из руды, и серой, содержащейся в коксе.

В нижней части доменной печи образуется шлак в результате сплавления окислов пустой породы руды, флюсов и золы топлива.

Шлаки содержат Al_2O_3 , CaO , MgO , SiO_2 , MnO , FeO , CaS . Шлак образуется постепенно, его состав меняется по мере стекания в горн, где он скапливается на поверхности жидкого чугуна, благодаря меньшей плотности. Состав шлака зависит от состава применяемых шихтовых материалов и выплавляемого чугуна.

Чугун выпускают из печи каждые 3÷4 ч через чугунную летку 17 (см. рис. 3), а шлак – каждые 1÷1,5 ч через шлаковую летку 16 (летка – отверстие в кладке, расположенное выше лещади). Летку открывают бурильной машиной, затем закрывают огнеупорной массой. Сливают чугун и шлак в чугуновозные ковши и шлаковозные чаши.

Чугун поступает в кислородно-конвертерные или мартеновские цехи или разливается в изложницы разливочной машиной, где он затвердевает в виде чушек-слитков массой 45 кг.

1.3.2. Продукты доменной плавки

Основным продуктом доменной плавки является чугун.

Передельный чугун предназначается для дальнейшего передела в сталь. На его долю приходится 90 % общего производства чугуна. Обычно такой чугун содержит: 3,8÷4,4 % углерода; 0,3÷1,2 % кремния; 0,2÷1 % марганца; 0,15÷0,20 % фосфора; 0,03÷0,07 % серы.

Литейный чугун применяется после переплава на машиностроительных заводах для получения фасонных отливок.

Кроме чугуна в доменных печах выплавляют *ферросплавы* – сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами. Их применяют для предварительного (неполного) раскисления.

Побочными продуктами доменной плавки являются *шлак* и *доменный газ*. Из шлака изготовляют шлаковату, цемент, удобрения (стараятся получить гранулированный шлак, для этого его выливают на струю воды). Доменный газ после очистки используется как топливо для нагрева воздуха, вдуваемого в печь.

1.3.3. Важнейшие технико-экономические показатели работы доменных печей

1. Коэффициент использования полезного объема доменной печи *КИПО* (m^3/t) – это отношение полезного объема печи V (m^3) к ее среднесуточной производительности P (т) выплавленного чугуна.

$$КИПО = V / P \quad (1)$$

Чем ниже *КИПО*, тем выше производительность печи. Для большинства доменных печей $КИПО = 0,5 \div 0,7$ (для передовых – 0,45).

2. Удельный расход кокса K – это отношение расхода кокса за сутки A (т) к количеству чугуна P (т), выплавленного за это же время.

$$K = A / P \quad (2)$$

Удельный расход кокса в доменных печах составляет $0,5 \div 0,7$ (для передовых – $0,36 \div 0,40$). K – важный показатель, так как стоимость кокса составляет более 50 % стоимости чугуна.

1.4. Процессы прямого получения железа из руд

Под процессами прямого получения железа понимают такие химические, электрохимические или химико-термические процессы, которые дают возможность получать непосредственно из руды минуя доменную печь, металлическое железо, в виде губки и окатышей. Такие процессы ведутся, не расходуя металлургический кокс, флюсы, электроэнергию (на подготовку сжатого воздуха), а также позволяют получить очень чистый металл.

Методы прямого получения железа известны давно. Опробовано более 70 различных способов, но лишь немногие осуществлены и притом в небольшом промышленном масштабе.

В последние годы интерес к этой проблеме вырос, что связано, помимо замены кокса другим топливом, с развитием способов глубокого обогащения руд, обеспечивающих не только высокое содержание железа в концентратах ($70 \div 72$ %), но и почти полное освобождение его от серы и фосфора.

Получение губчатого железа в шахтных печах (рис. 4).

При получении губчатого железа добытую руду обогащают и получают окатыши. Окатыши из бункера 1 по грохоту 2 поступают в короб 10 шихтозавалочной машины и оттуда в шахтную печь 9, работающую по принципу противотока. Просыпь от окатышей попадает в бункер 3 с брикетировочным прессом и в виде окатышей вновь поступает на грохот 2. Для восстановления железа из окатышей в печь по трубопроводу 8 подают смесь природного и доменного газов, подвергнутую в установке 7 конверсии, в результате которой смесь разлагается на водород H_2 и оксид углерода CO . В восстановительной зоне печи B создается температура $1000 \div 1100$ °С, при которой CO и H_2 восстанавливают железную руду в окатышах до твердого губчатого железа. Содержание железа в окатышах достигает $90 \div 95$ %. Для

охлаждения железных окатышей по трубопроводу 6 в зону охлаждения O печи подают воздух. Охлажденные окатыши 5 выдаются на конвейер 4 и поступают на выплавку стали в электропечах.

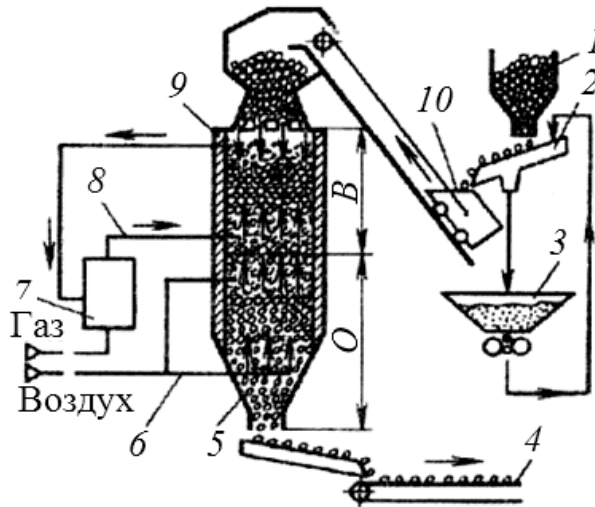


Рис. 4. Схема установки для прямого восстановления железа из руд и получения металлизированных окатышей

Восстановление железа в кипящем слое. Мелкозернистую руду или концентрат помещают на решетку, через которую подают водород или другой восстановительный газ под давлением 1,5 МПа. Под давлением водорода частицы руды находятся во взвешенном состоянии, совершая непрерывное движение и образуя «кипящий», «псевдожидкий» слой. В кипящем слое обеспечивается хороший контакт газа-восстановителя с частицами оксидов железа. На одну тонну восстановленного порошка расход водорода составляет $600 \div 650 \text{ м}^3$.

Получение губчатого железа в капсулах-тиглях. Используют карбидокремниевые капсулы диаметром 500 мм и высотой 1500 мм. Шихта загружается концентрическими слоями. Внутренняя часть капсулы заполнена восстановителем – измельченным твердым топливом и известняком (10÷15 %) для удаления серы. Второй слой – восстанавливаемая измельченная руда или концентрат, окалина, затем еще один концентрический слой – восстановителя и известняка. Установленные на вагонетки капсулы медленно перемещаются в туннельной печи длиной до 140 м, где происходит нагрев, выдержка при 1200 °С и охлаждение в течение 100 ч.

Восстановленное железо получают в виде толстостенных труб, их чистят, дробят и измельчают, получая железный порошок с содержанием железа до 99 %, углерода – $0,1 \div 0,2 \%$.

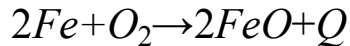
1.5. Производство стали

Стали – железоуглеродистые сплавы, содержащие практически до 1,5 % углерода, при большем его содержании значительно увеличиваются твердость и хрупкость сталей и они не находят широкого применения.

Основными исходными материалами для производства стали являются переплавочный чугун и стальной лом (скрап).

Содержание углерода и примесей в стали значительно ниже, чем в чугуне. Поэтому сущность любого металлургического передела чугуна в сталь – снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

Железо окисляется в первую очередь при взаимодействии чугуна с кислородом в сталеплавильных печах:

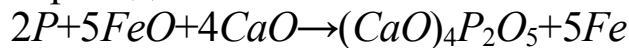


Одновременно с железом окисляются кремний, фосфор, марганец и углерод. Образующийся оксид железа при высоких температурах отдает свой кислород более активным примесям в чугуне, окисляя их.

Процессы выплавки стали осуществляют в три этапа.

Первый этап – расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла. Температура металла сравнительно невысокая, интенсивно происходит окисление железа, образование оксида железа и окисление примесей: кремния, марганца и фосфора.

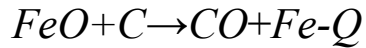
Наиболее важная задача этапа – удаление фосфора. Для этого желательно проведение плавки в основной печи, где шлак содержит CaO . Фосфорный ангидрид P_2O_5 образует с оксидом железа нестойкое соединение $(FeO)_3P_2O_5$. Оксид кальция CaO – более сильное основание, чем оксид железа, поэтому при невысоких температурах связывает P_2O_5 и переводит его в шлак:



Для удаления фосфора необходимы невысокие температура ванны металла и шлака, достаточное содержание в шлаке FeO . Для повышения содержания FeO в шлаке и ускорения окисления примесей в печь добавляют железную руду и окалину, наводя железистый шлак. По мере удаления фосфора из металла в шлак, содержание фосфора в шлаке увеличивается. Поэтому необходимо убрать этот шлак с зеркала металла и заменить его новым со свежими добавками CaO .

Второй этап – кипение металлической ванны – начинается по мере прогрева до более высоких температур.

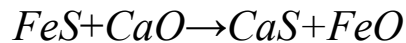
При повышении температуры более интенсивно протекает реакция окисления углерода, происходящая с поглощением теплоты:



Для окисления углерода в металл вводят незначительное количество руды, окалины или вдувают кислород.

При реакции оксида железа с углеродом пузырьки оксида углерода CO выделяются из жидкого металла, вызывая «кипение» ванны. При «кипении» уменьшается содержание углерода в металле до требуемого, выравнивается температура по объему ванны, частично удаляются неметаллические включения, прилипающие к всплывающим пузырькам CO , а также газы, проникающие в пузырьки CO . Все это способствует повышению качества металла. Следовательно, этот этап – основной в процессе выплавки стали.

Также создаются условия для удаления серы. Сера в стали находится в виде сульфида (FeS), который растворяется также в основном шлаке. Чем выше температура, тем большее количество сульфида железа FeS растворяется в шлаке и взаимодействует с оксидом кальция CaO :



Образующееся соединение CaS растворяется в шлаке, но не растворяется в железе, поэтому сера удаляется в шлак.

Третий этап – раскисление стали – заключается в восстановлении оксида железа, растворенного в жидком металле.

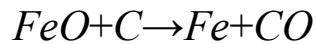
При плавке повышение содержания кислорода в металле необходимо для окисления примесей, но в готовой стали кислород – вредная примесь, так как понижает механические свойства стали, особенно при высоких температурах. Сталь раскисляют двумя способами: осаждающим и диффузионным.

Осаждающее раскисление осуществляется введением в жидкую сталь растворимых раскислителей (ферромарганца, ферросилиция, алюминия), содержащих элементы, которые обладают большим сродством к кислороду, чем железо. В результате раскисления восстанавливается железо и образуются оксиды: MnO , SiO_2 , Al_2O_3 , которые имеют меньшую плотность, чем сталь, и удаляются в шлак.

Диффузионное раскисление осуществляется раскислением шлака. Ферросилиций и кокс в измельченном виде загружают на поверхность шлака. Раскислители, восстанавливая оксид железа, уменьшают его содержание в шлаке. Следовательно, оксид железа, растворенный в стали, переходит в шлак. Образующиеся при этом процессе оксиды

остаются в шлаке, а восстановленное железо переходит в сталь, при этом в стали снижается содержание неметаллических включений и повышается ее качество.

В зависимости от степени раскисления выплавляют стали: спокойные; кипящие; полуспокойные. Спокойная сталь получается при полном раскислении в печи и ковше. Кипящая сталь раскислена в печи неполностью. Ее раскисление продолжается в изложнице при затвердевании слитка, благодаря взаимодействию оксида железа и углерода:



Образующийся оксид углерода CO выделяется из стали, способствуя удалению из стали азота и водорода, газы выделяются в виде пузырьков, вызывая ее кипение. Кипящая сталь не содержит неметаллических включений, поэтому обладает хорошей пластичностью.

Полуспокойная сталь имеет промежуточную раскисленность между спокойной и кипящей. Частично она раскисляется в печи и в ковше, а частично – в изложнице, благодаря взаимодействию оксида железа и углерода, содержащихся в стали.

Легирование стали осуществляется введением ферросплавов или чистых металлов в необходимом количестве в расплав. Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду меньше, чем у железа (Ni , Co , Mo , Cu), при плавке и разливке не окисляются, поэтому их вводят в любое время плавки. Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду больше, чем у железа (Si , Mn , Al , Cr , V , Ti), вводят в металл после раскисления или одновременно с ним в конце плавки, а иногда в ковш.

1.5.1. Способы выплавки стали

Чугун переделывается в сталь в различных по принципу действия металлургических агрегатах: мартеновских печах, кислородных конвертерах, электрических печах.

1.5.1.1. Производство стали в мартеновских печах

Мартеновский процесс (1864–1865 гг., Франция) в период до 70-х гг. являлся основным способом производства стали. Способ характеризуется сравнительно небольшой производительностью, возможностью использования вторичного металла – стального скрапа. Вместимость печи составляет 200÷900 т. Способ позволяет получать качественную сталь.

Мартеновская печь (рис. 5) по устройству и принципу работы является пламенной отражательной регенеративной печью. В плавильном пространстве сжигается газообразное топливо или мазут. Высокая температура для получения стали в расплавленном состоянии обеспечивается регенерацией тепла печных газов.

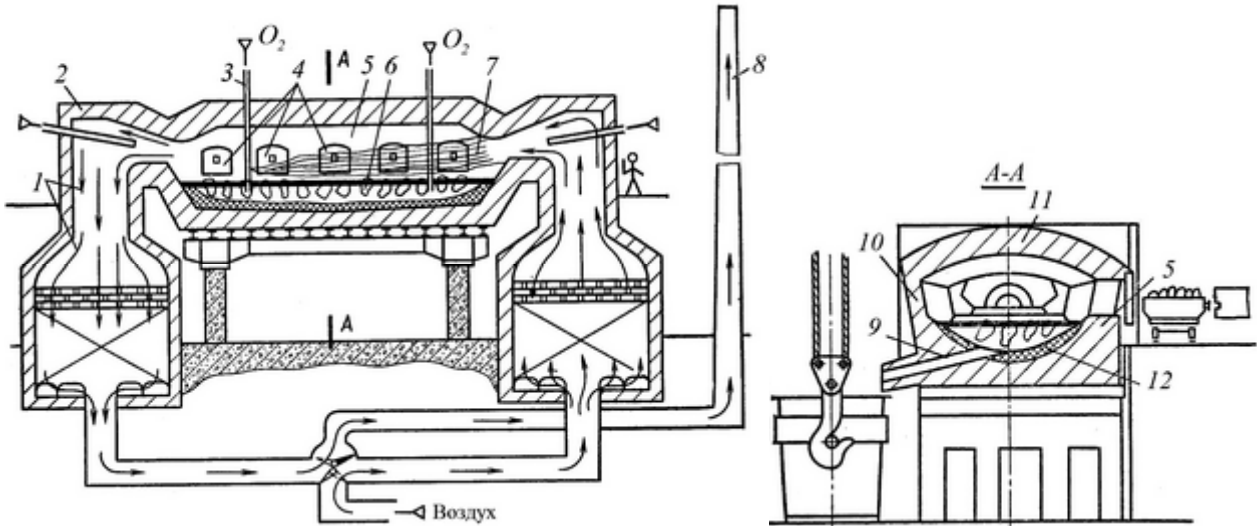


Рис. 5. Схема мартеновской печи

Современная мартеновская печь (см. рис. 5) представляет собой вытянутую в горизонтальном направлении камеру, сложенную из огнеупорного кирпича. Рабочее плавильное пространство ограничено снизу подиной 12, сверху сводом 11, а с боков передней 5 и задней 10 стенками. Подина имеет форму ванны с откосами по направлению к стенкам печи. В передней стенке имеются загрузочные окна 4 для подачи шихты и флюса, а в задней – отверстие 9 для выпуска готовой стали.

Характеристикой рабочего пространства является площадь пода печи, которую подсчитывают на уровне порогов загрузочных окон. С обоих торцов плавильного пространства расположены головки печи 2, которые служат для смешивания топлива с воздухом и подачи этой смеси в плавильное пространство. В качестве топлива используют природный газ, мазут. Для подогрева воздуха и газа при работе на низкокалорийном газе печь имеет два регенератора 1. Регенератор – камера, в которой размещена насадка – огнеупорный кирпич, выложенный в клетку, предназначен для нагрева воздуха и газов.

Отходящие от печи газы имеют температуру $1500 \div 1600$ °С. Попадая в регенератор, газы нагревают насадку до температуры 1250 °С. Через один из регенераторов подают воздух, который, проходя через насадку, нагревается до 1200 °С и поступает в головку печи, где смешивается с топливом, на выходе из головки образуется факел 7, направленный на шихту 6.

Отходящие газы проходят через противоположную головку (левую), очистные устройства (шлаковики), служащие для отделения от газа частиц шлака и пыли, и направляются во второй регенератор.

Охлажденные газы покидают печь через дымовую трубу 8. После охлаждения насадки правого регенератора переключают клапаны, и поток газов в печи изменяет направление.

Температура факела пламени достигает 1800 °С. Факел нагревает рабочее пространство печи и шихту. Факел способствует окислению примесей шихты при плавке.

Продолжительность плавки составляет 3÷6 ч, для крупных печей – до 12 ч. Готовую плавку выпускают через отверстие, расположенное в задней стенке на нижнем уровне пода. Отверстие плотно забивают малоспекающимися огнеупорными материалами, которые при выпуске плавки выбивают. Печи работают непрерывно, до остановки на капитальный ремонт – 400÷600 плавков.

В зависимости от состава шихты, используемой при плавке, различают разновидности мартеновского процесса:

– скрап-процесс, при котором шихта состоит из стального лома (скрапа) и 25÷45 % чушкового передельного чугуна, процесс применяют на заводах, где нет доменных печей, но много металлолома;

– скрап-рудный процесс, при котором шихта состоит из жидкого чугуна (55÷75 %), скрапа и железной руды, процесс применяют на металлургических заводах, имеющих доменные печи.

Футеровка печи может быть основной и кислой. Если в процессе плавки стали в шлаке преобладают основные оксиды, то процесс называют *основным* мартеновским процессом, а если кислые – *кислым*.

Наибольшее количество стали производят скрап-рудным процессом в мартеновских печах с основной футеровкой.

В печь загружают железную руду и известняк, а после подогрева подают скрап. После разогрева скрапа в печь заливают жидкий чугун. В период плавления за счет оксидов руды и скрапа интенсивно окисляются примеси чугуна: кремний, фосфор, марганец и, частично, углерод. Оксиды образуют шлак с высоким содержанием оксидов железа и марганца (железистый шлак). После этого проводят период «кипения» ванны: в печь загружают железную руду и продувают ванну подаваемым по трубам 3 кислородом. В это время отключают подачу в печь топлива и воздуха и удаляют шлак.

Для удаления серы наводят новый шлак, подавая на зеркало

металла известь с добавлением боксита для уменьшения вязкости шлака. Содержание CaO в шлаке возрастает, а FeO уменьшается.

В период «кипения» углерод интенсивно окисляется, поэтому шихта должна содержать избыток углерода. На данном этапе металл доводится до заданного химического состава, из него удаляются газы и неметаллические включения.

Затем проводят раскисление металла в два этапа. Сначала раскисление идет путем окисления углерода металла, при одновременной подаче в ванну раскислителей – ферромарганца, ферросилиция, алюминия. Окончательное раскисление алюминием и ферросилицием осуществляется в ковше, при выпуске стали из печи. После отбора контрольных проб сталь выпускают в ковш.

В основных мартеновских печах выплавляют стали углеродистые конструкционные, низко- и среднелегированные (марганцовистые, хромистые), кроме высоколегированных сталей и сплавов, которые получают в плавильных электропечах.

В кислых мартеновских печах выплавляют качественные стали. Применяют шихту с низким содержанием серы и фосфора.

Стали содержат меньше водорода и кислорода, неметаллических включений. Следовательно, кислая сталь имеет более высокие механические свойства, особенно ударную вязкость и пластичность.

Основными технико-экономическими показателями производства стали в мартеновских печах являются: производительность печи – съем стали с 1 м^2 площади пода в сутки ($\text{т}/\text{м}^2$ в сутки), в среднем составляет $10 \text{ т}/\text{м}^2$; расход топлива на 1 т выплавляемой стали, в среднем составляет $80 \text{ кг}/\text{т}$. С укрупнением печей увеличивается их экономическая эффективность.

1.5.1.2. Производство стали в кислородных конвертерах

Кислородно-конвертерный процесс – выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом через водоохлаждаемую фурму. Первые опыты в 1933–1934 гг. В промышленных масштабах – в 1952–1953 гг. на заводах в Линце и Донавице (Австрия) – получил название ЛД-процесс. В настоящее время способ является основным в массовом производстве стали.

Кислородный конвертер – сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом. Вместимость конвертера – $130\div 350 \text{ т}$ жидкого чугуна. В процессе работы конвер-

тер может поворачиваться на 360° для загрузки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака.

Шихтовыми материалами кислородно-конвертерного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом (не более 30 %), известь для наведения шлака, железная руда, а также боксит Al_2O_3 и плавиковый шпат CaF_2 для разжижения шлака.

Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах представлена на рис. 6. После очередной плавки стали выпускное отверстие заделывают огнеупорной массой и осматривают футеровку, ремонтируют.

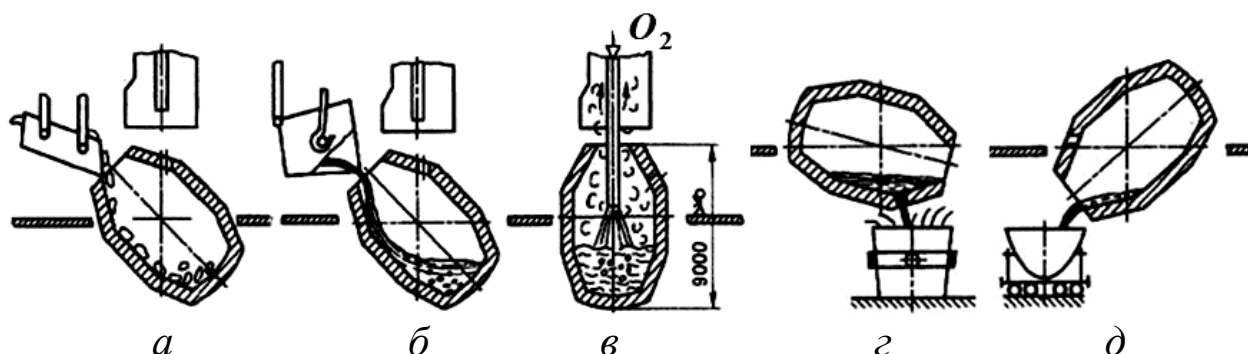


Рис. 6. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах

Перед плавкой конвертер наклоняют, с помощью завалочных машин загружают скрап (рис. 6, а), заливают чугун при температуре $1250\div 1400^\circ\text{C}$ (рис. 6, б). После этого конвертер поворачивают в рабочее положение (рис. 6, в), внутрь вводят охлаждаемую фурму и через нее подают кислород под давлением $0,9\div 1,4$ МПа. Одновременно с началом продувки загружают известь, боксит, железную руду. Кислород проникает в металл, вызывает его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Под фурмой развивается температура 2400°C . В зоне контакта кислородной струи с металлом окисляется железо. Оксид железа растворяется в шлаке и металле, обогащая металл кислородом. Растворенный кислород окисляет кремний, марганец, углерод в металле, и их содержание падает. Происходит разогрев металла теплотой, выделяющейся при окислении.

Фосфор удаляется в начале продувки ванны кислородом, когда ее температура невысока (содержание фосфора в чугуне не должно превышать 0,15 %). При повышенном содержании фосфора для его удаления необходимо сливать шлак и наводить новый, что снижает производительность конвертера.

Сера удаляется в течение всей плавки (содержание серы в чугуне должно быть до 0,07 %).

Подачу кислорода заканчивают, когда содержание углерода в металле соответствует заданному. После этого конвертер поворачивают и выпускают сталь в ковш (рис. 6, *з*), где раскисляют осаждающим методом ферромарганцем, ферросилицием и алюминием, затем сливают шлак (рис. 6, *д*).

В кислородных конвертерах выплавляют стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные, а также низколегированные стали. Легирующие элементы в расплавленном виде вводят в ковш перед выпуском в него стали. Плавка в конвертерах вместимостью 130÷300 т заканчивается через 25÷30 мин.

1.5.1.3. Производство стали в электропечах

Плавильные электропечи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами:

- а) легко регулировать тепловой процесс, изменяя параметры тока;
- б) можно получать высокую температуру плавления металла;
- в) возможно создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу и вакуум, что позволяет раскислять металл с образованием минимального количества неметаллических включений.

Электропечи используют для выплавки качественных углеродистых, конструкционных, высоколегированных, инструментальных, специальных сплавов и сталей. Различают дуговые и индукционные электропечи.

Дуговая плавильная печь (рис. 7) питается трехфазным переменным током. Имеет три цилиндрических электрода 9 из графитизированной массы, закрепленных в электрододержателях 8, к которым подводится электрический ток по кабелям 7. Между электродом и металлической шихтой 3 возникает электрическая дуга. Корпус печи имеет форму цилиндра. Снаружи он заключен в прочный стальной кожух 4, внутри футерован основным или кислым кирпичом 1. Плавильное пространство ограничено стенками 5, подиной 12 и сводом 6. Съёмный свод 6 имеет отверстия для электродов. В стенке корпуса рабочее окно 10 (для слива шлака, загрузки ферросплавов, взятия проб), закрытое при плавке заслонкой. Готовую сталь выпускают через сливное отверстие со сливным желобом 2. Печь опирается на секторы и имеет привод 11 для наклона в сторону рабочего окна или желоба. Печь загружают при снятом своде.

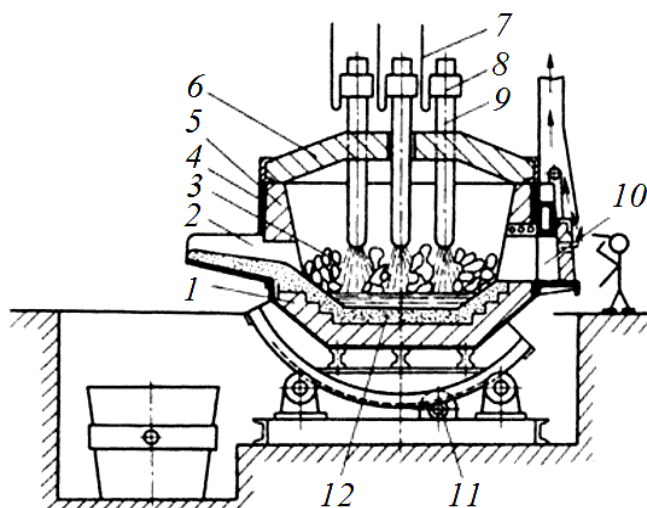


Рис. 7. Схема дуговой плавильной печи

Вместимость печей составляет $0,5 \div 400$ т. В металлургических цехах используют электропечи с основной футеровкой, а в литейных – с кислой.

В основной дуговой печи осуществляется плавка двух видов:

- а) на шихте из легированных отходов (методом переплава);
- б) на углеродистой шихте (с окислением примесей).

Плавку на шихте из легированных отходов ведут без окисления примесей. После расплавления шихты из металла удаляют серу, наводя основной шлак, при необходимости науглероживают и доводят металл до заданного химического состава. Проводят диффузионное раскисление, подавая на шлак измельченные ферросилиций, алюминий, молотый кокс. Так выплавляют легированные стали из отходов машиностроительных заводов.

Плавку на углеродистой шихте применяют для производства конструкционных сталей. В печь загружают шихту: стальной лом, чушковый передельный чугун, электродный бой или кокс, для науглероживания металлов и известь. Опускают электроды, включают ток. Шихта под действием электродов плавится, металл накапливается в подине печи. Во время плавления шихты кислородом воздуха, оксидами шихты и окалины окисляются железо, кремний, фосфор, марганец, частично углерод. Оксид кальция из извести и оксид железа образуют основной железистый шлак, способствующий удалению фосфора из металла. После нагрева до $1500 \div 1540$ °С загружают руду и известь, проводят период «кипения» металла, происходит дальнейшее окисление углерода. После прекращения кипения удаляют шлак. Затем приступают к удалению серы и раскислению металла заданного химического состава. Раскисление производят

осаждением и диффузионным методом. Для определения химического состава металла берут пробы и при необходимости вводят в печь ферросплавы для получения заданного химического состава. Затем выполняют конечное раскисление алюминием и силикокальцием, выпускают сталь в ковш.

При выплавке легированных сталей в дуговых печах в сталь вводят легирующие элементы в виде ферросплавов. В дуговых печах выплавляют высококачественные углеродистые стали – конструкционные, инструментальные, жаростойкие и жаропрочные.

Индукционные тигельные плавильные печи (рис. 8). Выплавляют наиболее качественные коррозионностойкие, жаропрочные и другие стали и сплавы. Вместимость от десятков килограммов до 30 т.

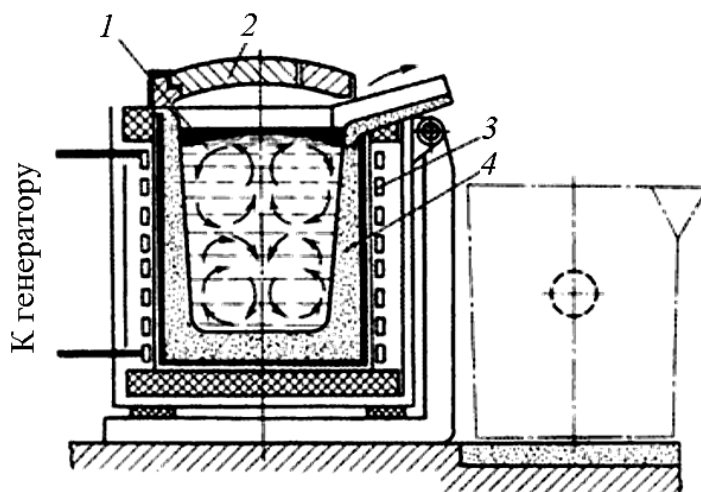


Рис. 8. Схема индукционной тигельной печи

Печь состоит из водоохлаждаемого индуктора 3, внутри которого находится тигель 4 (основные или кислые огнеупорные материалы) с металлической шихтой, через индуктор от генератора высокой частоты проходит однофазный переменный ток повышенной частоты (500÷2000 Гц). При пропускании тока через индуктор в металле 1, находящемся в тигле, индуцируются мощные вихревые токи, что обеспечивает нагрев и плавление металла. Для уменьшения потерь тепла печь имеет съемный свод 2. Тигель изготавливают из кислых (кварцит) или основных (магнезитовый порошок) огнеупоров. Для выпуска плавки печь наклоняют в сторону сливного желоба. Под действием электромагнитного поля индуктора при плавке происходит интенсивная циркуляция жидкого металла, что способствует ускорению химических реакций, получению однородного по химическому составу металла, быстрому всплыванию неметаллических включений, выравниванию температуры.

В индукционных печах выплавляют сталь и сплавы из легированных отходов *методом переплава* или из чистого шихтового железа и скрапа с добавкой ферросплавов *методом сплавления*.

После расплавления шихты на поверхность металла загружают шлаковую смесь для уменьшения тепловых потерь металла и уменьшения угара легирующих элементов, защиты его от насыщения газами.

При плавке в кислых печах, после расплавления и удаления плавильного шлака, наводят шлак из боя стекла (SiO_2). Для окончательного раскисления перед выпуском металла в ковш вводят ферросилиций, ферромарганец и алюминий.

В основных печах раскисление проводят смесью из порошкообразной извести, кокса, ферросилиция, ферромарганца и алюминия.

В основных печах выплавляют высококачественные легированные стали с высоким содержанием марганца, титана, никеля, алюминия, а в печах с кислой футеровкой – конструкционные, легированные другими элементами стали.

В печах можно получать стали с незначительным содержанием углерода и безуглеродистые сплавы, так как нет науглероживающей среды.

При вакуумной индукционной плавке индуктор, тигель, дозатор шихты и изложницы помещают в вакуумные камеры. Получают сплавы высокого качества с малым содержанием газов, неметаллических включений и сплавы, легированные любыми элементами.

1.5.2. Разливка стали

Из плавильных печей сталь выпускают в ковш, который мостовым краном переносят к месту разливки стали. Из ковша сталь разливают в изложницы или кристаллизаторы машины для непрерывного литья заготовок. В изложницах или кристаллизаторах сталь затвердевает, и получают слитки, которые подвергаются прокатке, ковке.

Изложницы – чугунные формы для изготовления слитков. Изложницы выполняют с квадратным, прямоугольным, круглым и многогранным поперечными сечениями.

Слитки с квадратным сечением переделывают на сортовой прокат: двутавровые балки, швеллеры, уголки. Слитки прямоугольного сечения – на листы. Слитки круглого сечения используются для изготовления труб, колес. Слитки с многогранным сечением применяют для изготовления поковок.

Спокойные и кипящие углеродистые стали разливают в слитки массой до 25 т, легированные и высококачественные стали – в слитки массой $0,5 \div 7$ т, а некоторые сорта высоколегированных сталей – в слитки до нескольких килограммов.

Сталь разливают в изложницы сверху (рис. 9, а), снизу – сифоном (рис. 9, б) и на машинах непрерывного литья (рис. 10).

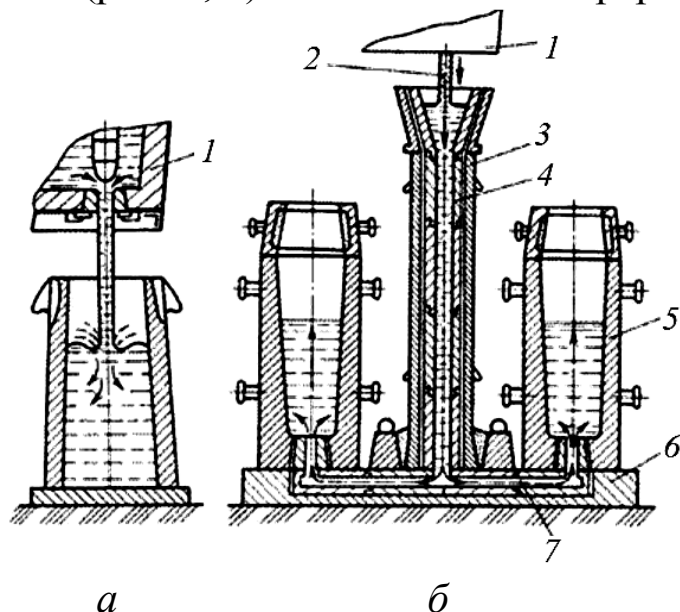


Рис. 9. Разливка стали в изложницы: а – сверху; б – снизу (сифоном)

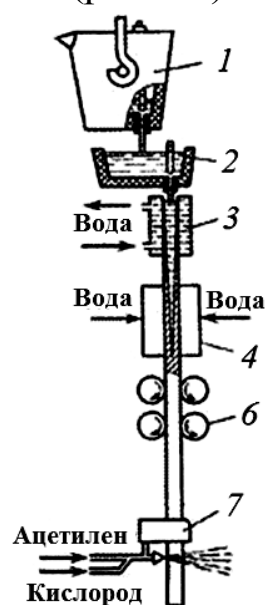


Рис. 10. Схема непрерывной разливки стали

В изложницы *сверху* сталь (см. рис. 9, а) разливают непосредственно из ковша 1. При этом исключается расход металла на литники, упрощается подготовка оборудования к разливке. К недостаткам следует отнести менее качественную поверхность слитков, из-за наличия пленок оксидов от брызг металла, затвердевающих на стенках изложницы. Применяется для разливки углеродистых сталей.

При *сифонной разливке* (см. рис. 9, б) одновременно заполняются несколько изложниц ($4 \div 60$). Изложницы устанавливаются на поддоне б, в центре которого располагается центровой литник 3, футерованный огнеупорными трубками 4, соединенный каналами 7 с изложницами. Жидкая сталь 2 из ковша 1 поступает в центровой литник и снизу плавно, без разбрызгивания наполняет изложницу 5.

Поверхность слитка получается чистой, можно разливать большую массу металла одновременно в несколько изложниц. Используют для легированных и высококачественных сталей.

Непрерывная разливка (см. рис. 10) стали состоит в том, что жидкую сталь из ковша 1 через промежуточное разливочное устройство 2 непрерывно подают в водоохлаждаемую изложницу без

дна – кристаллизатор 3, из нижней части которого вытягивается затвердевающий слиток 5.

Перед заливкой металла в кристаллизатор вводят затравку – стальную штангу со сменной головкой, имеющей паз в виде ласточкиного хвоста, которая в начале заливки служит дном кристаллизатора. Вследствие интенсивного охлаждения жидкий металл у стенок кристаллизатора и на затравке затвердевает, образуется корка, соединяющая металл с затравкой. Затравка движется вниз при помощи тяговых роликов 6, постепенно вытягивая затвердевающий слиток из кристаллизатора. После прохождения тяговых роликов 6 затравку отделяют. Скорость вытягивания составляет в среднем 1 м/мин. Окончательное затвердевание в сердцевине происходит в результате вторичного охлаждения водой из брызгал 4. Затем затвердевший слиток попадает в зону резки, где его разрезают газовым резаком 7 на куски заданной длины. Слитки имеют плотное строение и мелкозернистую структуру, отсутствуют усадочные раковины.

1.5.3. Строение стального слитка

В зависимости от степени раскисления (кипящая, спокойная) структура стального слитка может иметь различное строение (рис. 11). В общем случае в структуре стального слитка можно выделить три зоны.

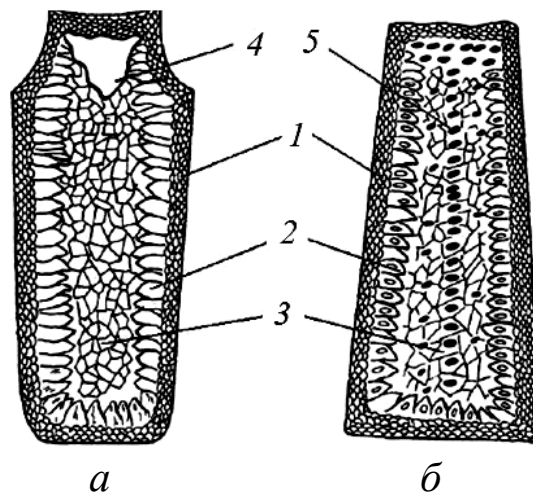


Рис. 11. Схема строения стальных слитков спокойной (а) и кипящей (б) стали: 1 – зона мелкозернистых кристаллов; 2 – зона столбчатых кристаллов; 3 – зона крупнозернистых кристаллов; 4 – усадочная раковина; 5 – газовые пузыри

Первая зона слитка состоит из мелких равноосных зерен. Металл в начальный момент затвердевания, соприкасаясь с холодными стенка-

ми формы, охлаждается в тонком слое с большой скоростью. После образования внешней мелкозернистой зоны условия затвердевания металла меняются: скорость охлаждения уменьшается, отвод тепла становится направленным (перпендикулярно к стенкам формы), зерна приобретают столбчатый вид. Вторая зона – зона столбчатых кристаллов.

Внутренняя часть слитка – зона крупных равноосных зерен. Третья зона формируется в условиях равномерного охлаждения жидкого металла. Здесь зерна зарождаются и растут без определенного направления. В процессе затвердевания объем жидкого металла уменьшается, поэтому в слитке образуется усадочная раковина. Усадочная раковина располагается в верхней части слитка, где затвердевают последние порции металла, а под ней на некоторую глубину протягивается усадочная рыхлота.

Структура, показанная на рис. 11, *а*, образуется при кристаллизации спокойной стали, которую получают при полном раскислении металла в печи и ковше. Такая сталь затвердевает без выделения газов, поэтому слиток имеет плотное строение, а усадочная раковина концентрируется в верхней части. В целях уменьшения усадочной раковины в слитках изложницы изготавливают с утепленной надставкой.

Выделение газов в слитке кипящей стали (см. рис. 11, *б*) происходит при затвердевании слитка, поэтому в слитке образуется не концентрированная усадочная раковина, а большое количество расщепленных газовых пузырей. Кипящая сталь практически не содержит неметаллических включений и обладает высокой пластичностью. Листовой прокат, получаемый из низкоуглеродистой кипящей стали, широко применяется при изготовлении деталей холодной обработкой давлением.

Стальные слитки неоднородны по химическому составу. Химическая неоднородность, возникающая в процессе кристаллизации, называется ликвацией. Ликвация бывает двух видов – дендритная и зональная.

Дендритной ликвацией называется неоднородность по химическому составу в пределах одного кристалла (дендрита) – по направлениям его центральной оси, ветвей и в приграничных зонах. Например, при кристаллизации стали, содержание серы на границах зерен по сравнению с содержанием ее в их центре увеличивается в 2 раза, фосфора – в 1,2 раза, а углерод уменьшается почти наполовину.

Зональная ликвация – неоднородность состава стали в различных частях слитка. В верхней части слитка из-за конвекции жидкого метал-

ла содержание серы, фосфора и углерода увеличивается в несколько раз, в нижней части – уменьшается. Зональная ликвация приводит к браку металла вследствие отклонения его свойств от заданных. Верхнюю прибыльную часть слитка при прокатке отрезают.

1.5.4. Способы повышения качества стали

Повышения качества стали требуют новейшие отрасли техники – космос, авиастроение, автомобилестроение, химическое машиностроение, атомная энергетика и др.

Улучшить качество металла можно уменьшением в нем вредных примесей, газов, неметаллических включений. Для повышения качества металла используют: обработку синтетическим шлаком, вакуумную дегазацию металла, электрошлаковый переплав (ЭШП), вакуумно-дуговой переплав (ВДП), переплав металла в электронно-дуговых и плазменных печах и т.д.

Вакуумная дегазация проводится для уменьшения содержания в металле газов и неметаллических включений.

Вакуумирование стали проводят в ковше, при переливе из ковша в ковш, при заливке в изложницу.

Для вакуумирования в ковше ковш с жидкой сталью помещают в камеру, закрывающуюся герметичной крышкой. Вакуумными насосами создают разрежение до остаточного давления $0,267 \div 0,667$ кПа. При понижении давления из жидкой стали выделяются водород и азот. Всплывающие пузырьки газов захватывают неметаллические включения, в результате чего содержание их в стали снижается. Улучшаются прочность и пластичность стали.

ЭШП (рис. 12) применяют для выплавки высококачественных сталей для подшипников, жаропрочных сталей. Переплаву подвергается выплавленный в дуговой печи и прокатанный на пруток металл. Источником теплоты является шлаковая ванна, нагреваемая электрическим током. Электрический ток подводится к переплавляемому электроду 1, погруженному в шлаковую ванну 2, и к поддону 9, установленному в водоохлаждаемом кристаллизаторе 7, в котором находится затравка 8. Выделяющаяся теплота нагревает ванну 2 до температуры свыше 1700 °С и вызывает оплавление конца электрода. Капли жидкого металла 3 проходят через шлак и образуют под шлаковым слоем металлическую ванну 4. Перенос капель металла через основной шлак способствует удалению из металла серы, неметаллических включений

и газов. Металлическая ванна пополняется путем расплавления электрода, и под воздействием кристаллизатора она постепенно формируется в слиток 6. Содержание кислорода уменьшается в $1,5 \div 2$ раза, серы в $2 \div 3$ раза. Слиток отличается плотностью, однородностью, хорошим качеством поверхности, высокими механическими и эксплуатационными свойствами. Слитки получают круглого, квадратного и прямоугольного сечения, массой до 110 т.

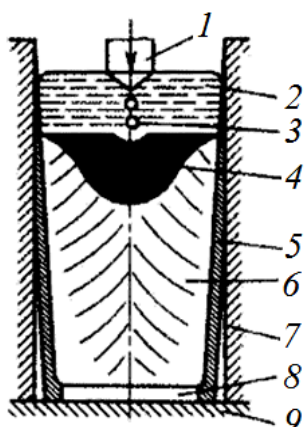


Рис. 12. Схема электрошлакового переплава

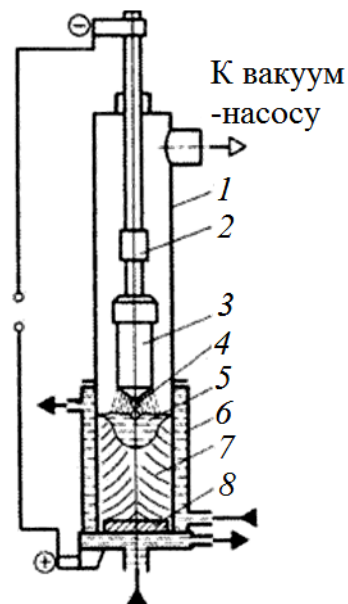


Рис. 13. Схема вакуумно-дугового переплава

ВДП (см. рис. 13) применяют в целях удаления из металла газов и неметаллических включений. Процесс осуществляется в вакуумно-дуговых печах с расходуемым электродом. Катод изготовляют механической обработкой слитка, выплавляемого в электропечах или установках ЭШП. Расходуемый электрод 3 закрепляют на водоохлаждаемом штоке 2 и помещают в корпус печи 1 и далее в медную водоохлаждаемую изложницу 6. Из корпуса печи откачивают воздух до остаточного давления $0,00133$ кПа. При подаче напряжения между расходуемым электродом 3 (катодом) и затравкой 8 (анодом) возникает дуга. Выделяющаяся теплота расплавляет конец электрода. Капли жидкого металла 4, проходя зону дугового разряда, дегазируются, заполняют изложницу и затвердевают, образуя слиток 7. Дуга горит между электродом и жидким металлом 5 в верхней части слитка на протяжении всей плавки. Охлаждение слитка и разогрев жидкого металла создают условия для направленного затвердевания слитка. Следовательно, неметаллические включения сосредотачиваются в верхней части слитка, усадочная раковина мала. Слиток характеризуется высо-

кой равномерностью химического состава, повышенными механическими свойствами. Изготавливают детали турбин, двигателей, авиационных конструкций. Масса слитков достигает 50 т.

1.6. Производство цветных металлов

Производство меди.

Медь в природе находится в виде сернистых соединений (CuS , Cu_2S), оксидов (CuO , Cu_2O), гидрокарбонатов ($Cu(OH)_2$), углекислых соединений ($CuCO_3$) в составе сульфидных руд и самородной металлической меди. Наиболее распространенные руды – медный колчедан и медный блеск, содержащие 1÷2 % меди. 90 % первичной меди получают пирометаллургическим способом, 10 % – гидрометаллургическим.

Гидрометаллургический способ – получение меди путем ее выщелачивания слабым раствором серной кислоты и последующего выделения металлической меди из раствора.

Получение меди *пирометаллургическим способом* состоит из обогащения, обжига, плавки на штейн, продувки в конвертере, рафинирования.

Обогащение медных руд производится методом флотации и окислительного обжига.

Метод флотации основан на использовании различной смачиваемости медьсодержащих частиц и пустой породы. Позволяет получать медный концентрат, содержащий 10÷35 % меди.

Медные руды и концентраты, содержащие большие количества серы, подвергаются *окислительному обжигу*. В процессе нагрева концентрата или руды до 700÷800 °С в присутствии кислорода воздуха сульфиды окисляются и содержание серы снижается почти вдвое против исходного. Обжигают только бедные (с содержанием меди 8÷25 %) концентраты, а богатые (25÷35 % меди) плавят без обжига.

После обжига руда и медный концентрат подвергаются *плавке на штейн*, представляющий собой сплав, содержащий сульфиды меди и железа (Cu_2S , FeS). Штейн содержит 20÷50 % меди, 20÷40 % железа, 22÷25 % серы, около 8 % кислорода и примеси никеля, цинка, свинца, золота, серебра. Чаще всего плавка производится в пламенных отражательных печах. Температура в зоне плавки 1450 °С.

Полученный медный штейн, с целью окисления сульфидов и железа, подвергают продувке сжатым воздухом в горизонтальных конвертерах с боковым дутьем. Образующиеся окислы переводят

в шлак, а серу – в SO_2 . Тепло в конвертере выделяется за счет протекания химических реакций без подачи топлива. Температура в конвертере составляет $1200 \div 1300$ °С. Таким образом, в конвертере получают *черновую медь*, содержащую $98,4 \div 99,4$ % меди, $0,01 \div 0,04$ % железа, $0,02 \div 0,1$ % серы и небольшое количество никеля, олова, сурьмы, серебра, золота. Эту медь сливают в ковш и разливают в стальные изложницы или на разливочной машине. Черновую медь рафинируют для удаления вредных примесей, проводят *огневое*, а затем *электролитическое рафинирование*.

Сущность *огневого рафинирования* черновой меди заключается в окислении примесей, имеющих большее сродство к кислороду, чем медь, удалении их с газами и переводе в шлак. После *огневого рафинирования* получают медь чистотой $99 \div 99,5$ %. Ее разливают в изложницы и получают чушки для дальнейшей выплавки сплавов (бронзы и латуни) или слитки для электролитического рафинирования.

Электролитическое рафинирование проводят для получения чистой от примесей меди ($99,95$ % Cu). Электролиз проводят в ваннах, где анод изготавливают из меди *огневого рафинирования*, а катод – из тонких листов чистой меди. Электролитом служит водный раствор $CuSO_4$ ($10 \div 16$ %) и H_2SO_4 ($10 \div 16$ %).

При пропускании постоянного тока анод растворяется, медь переходит в раствор, а на катодах разряжаются ионы меди, осаждаясь на них слоем чистой меди. Примеси осаждаются на дно ванны в виде шлака, который идет на переработку с целью извлечения металлов. Катоды выгружают через $5 \div 12$ дней, когда их масса достигнет $60 \div 90$ кг. Их тщательно промывают, а затем переплавляют в электропечах.

Медь по чистоте подразделяется на марки: М0 ($99,95$ % Cu), М1 ($99,9$ %), М2 ($99,7$ %), М3 ($99,5$ %), М4 (99 %).

Производство магния.

Для получения магния наибольшее распространение получил электролитический способ, сущность которого заключается в получении чистых безводных солей магния, электролизе этих солей в расплавленном состоянии и рафинировании металлического магния.

Основным сырьем для получения магния являются: карналлит, магнезит, доломит, бишофит. Наибольшее количество магния получают из карналлита. Сначала карналлит обогащают и обезвоживают. Безводный карналлит используют для приготовления электролита.

Электролиз осуществляют в электролизере, футерованном шамотным кирпичом. Анодами служат графитовые пластины, а катода-

ми – стальные пластины. Электролизер заполняют расплавленным электролитом состава 10 % $MgCl_2$, 45 % $CaCl_2$, 30 % $NaCl$, 15 % KCl , с небольшими добавками NaF и CaF_2 . Такой состав электролита необходим для понижения температуры его плавления (720 °С). Для электролитического разложения хлористого магния через электролит пропускают ток. В результате образуются ионы хлора, которые движутся к аноду. Ионы магния движутся к катоду и после разряда выделяются на поверхности, образуя капельки жидкого черного магния. Магний имеет меньшую плотность, чем электролит, поэтому он всплывает на поверхность, откуда его периодически удаляют вакуумным ковшом.

Черновой магний содержит 5 % примесей, поэтому его рафинируют переплавкой с флюсами. Для этого черновой магний и флюс, состоящий из $MgCl_2$, KCl , CaF_2 , $NaCl$, $CaCl_2$, нагревают в печи до температуры 700÷750 °С и перемешивают. При этом неметаллические примеси переходят в шлак. Затем печь охлаждают до температуры 670 °С и магний разливают в изложницы на чушки.

Производство алюминия.

Основное сырье для производства алюминия – алюминиевые руды (бокситы, нефелины, алуниты, каолины). Наибольшее применение имеют бокситы, содержащие 28÷70 % глинозема; 0,5÷20 % кремнезема; 2÷50 % окиси железа; 0,01÷10 % окиси титана.

Различают три стадии технологического процесса: получение чистого глинозема (Al_2O_3) из алюминиевых руд; получение первичного алюминия электролизом глинозема из расплавленного криолита; рафинирование первичного алюминия хлором. После рафинирования чистота первичного алюминия составляет 99,50÷99,85 %. Алюминий более высокой чистоты получают с помощью электролитического рафинирования.

Производство титана.

Наиболее важный и распространенный в природе минерал титана (рутил) представляет собой почти чистый диоксид титана TiO_2 и отличается высокой концентрацией титана (более 65 %). Титанистый железняк (ильменит) в чистом виде имеет формулу $FeOTiO_2$ и содержит около 30 % чистого титана. Главная его особенность – крупные рудные месторождения. Всего около 100 минералов содержит титан.

В настоящее время промышленный способ получения титана – магнетермический. Способ состоит в обогащении и хлорировании титановой руды в присутствии кокса с последующим восстановлением титана из четыреххлористого титана расплавленным металлическим

магнием. В дальнейшем $MgCl_2$ подвергают электролизу. Магнетермический способ является примером безотходной технологии.

Титановая губка представляет собой сросток дендритов, пластичную и вязкую пористую массу, загрязненную примесями. Обозначают титановую губку ТГ-100, ТГ-105, ..., ТГ-155 (ТГ – титановая губка, цифры – твердость *НВ*). Полученную титановую губку размалывают в порошок, прессуют и спекают или переплавляют в дуговых печах в вакууме или в атмосфере инертных газов. Для уменьшения количества примесей и более равномерного их распределения по сечению слитка проводят 2÷3-кратную переплавку. Характерную для титановых слитков крупнозернистую структуру измельчают путем модифицирования. Полученный в результате переплава технический титан маркируют в зависимости от содержания примесей ВТ1-00, ВТ1-0.

Чистейший иодидный титан получают методом термической диссоциации из четырехиодидного титана, а также методом зонной плавки.

2. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Теория и практика технологии литейного производства на современном этапе позволяет получать изделия с высокими эксплуатационными свойствами. Отливки надежно работают в реактивных двигателях, атомных энергетических установках и других машинах ответственного назначения. Они используются в изготовлении строительных конструкций, металлургических агрегатов, морских судов, деталей бытового оборудования, художественных и ювелирных изделий.

Современное состояние литейного производства определяется совершенствованием традиционных и появлением новых способов литья, непрерывно повышающимся уровнем механизации и автоматизации технологических процессов, специализацией и централизацией производства, созданием научных основ проектирования литейных машин и механизмов.

Важнейшим направлением повышения эффективности является улучшение качества, надежности, точности и шероховатости отливок с максимальным приближением их к форме готовых изделий путем внедрения новых технологических процессов и улучшения качества литейных сплавов, устранение вредного воздействия на окружающую среду и улучшение условий труда.

Преимуществом литья является изготовление отливок с наибольшими коэффициентами использования металла и весовой точности, практически неограниченных габаритов и массы, получение заготовок из сплавов, не поддающихся пластической деформации и трудно обрабатываемых резанием (магниты).

2.1. Классификация литых заготовок

По условиям эксплуатации, независимо от способа изготовления, различают отливки:

– общего назначения – отливки для деталей, не рассчитываемых на прочность;

– ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при статических нагрузках;

– особо ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических и динамических нагрузках.

В зависимости от способа изготовления, массы, конфигурации

поверхностей, габаритного размера, толщины стенок, количества стержней, назначения и особых технических требований отливки делят на 6 групп сложности.

Первая группа характеризуется гладкими и прямолинейными наружными поверхностями с наличием невысоких усиливающих ребер, буртов, фланцев, отверстий. Внутренние поверхности простой формы. *Типовые детали* – крышки, рукоятки, диски, фланцы, муфты, колеса вагонеток, маховики для вентилялей и т.д.

Шестая группа – отливки с особо сложными закрытыми коробчатыми и цилиндрическими формами. На наружных криволинейных поверхностях под различными углами пересекаются ребра, кронштейны и фланцы. Внутренние полости имеют особо сложные конфигурации с затрудненными выходами на поверхность отливки. *Типовые детали* – станины специальных металлорежущих станков, сложные корпуса центробежных насосов, детали воздуходувок, рабочие колеса гидротурбин.

В зависимости от способа изготовления их габаритных размеров и типа сплавов ГОСТ 26645 устанавливает 22 класса точности.

2.2. Литейные свойства сплавов

Состав материалов должен обеспечивать получение в отливке заданных физико-механических и физико-химических свойств. Свойства и структура должны быть стабильными в течение всего срока эксплуатации отливки.

Материалы должны обладать хорошими литейными свойствами (высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, низкой склонностью к образованию трещин и поглощению газов, герметичностью), хорошо свариваться, легко обрабатываться режущим инструментом. Они не должны быть токсичными и вредными для производства. Необходимо, чтобы они обеспечивали технологичность в условиях производства и были экономичными.

Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, которые проявляются при заполнении формы, кристаллизации и охлаждении отливок в форме. К основным литейным свойствам сплавов относят: жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение, ликвацию.

Жидкотекучесть – способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки.

При высокой жидкотекучести сплавы заполняют все элементы литейной формы. Жидкотекучесть зависит от многих факторов: от температурного интервала кристаллизации, вязкости и поверхностного натяжения расплава, температуры заливки и формы, свойств формы и т.д.

Чистые металлы и сплавы, затвердевающие при постоянной температуре, обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, затвердевающие в интервале температур (твердые растворы). Чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть. С увеличением поверхностного натяжения жидкотекучесть понижается. С повышением температуры заливки расплавленного металла и формы жидкотекучесть улучшается. Увеличение теплопроводности материала формы снижает жидкотекучесть. Так, песчаная форма отводит теплоту медленнее, и расплавленный металл заполняет ее лучше, чем металлическую форму. Наличие неметаллических включений снижает жидкотекучесть. Так же влияет химический состав сплава (с увеличением содержания серы, кислорода, хрома жидкотекучесть снижается; с увеличением содержания фосфора, кремния, алюминия, углерода жидкотекучесть увеличивается).

Усадка – свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды. Изменение объема зависит от химического состава сплава, температуры заливки, конфигурации отливки. Различают *объемную* и *линейную* усадку.

В результате объемной усадки появляются усадочные раковины и усадочная пористость в массивных частях отливки.

Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли – дополнительные резервуары с расплавленным металлом, а также наружные или внутренние холодильники.

Линейная усадка определяет размерную точность полученных отливок, поэтому она учитывается при разработке технологии литья и изготовления модельной оснастки.

Линейная усадка составляет: для серого чугуна – $0,8 \div 1,3$ %; для углеродистых сталей – $2 \div 2,4$ %; для алюминиевых сплавов – $0,9 \div 1,45$ %; для медных сплавов – $1,4 \div 2,3$ %.

Газопоглощение – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. Степень растворимости газов зависит от состояния сплава: с повышением температуры твердого сплава увеличивается незначительно;

возрастает при плавлении; резко повышается при перегреве расплава. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры. Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы.

Ликвация – неоднородность химического состава сплава в различных частях отливки. Ликвация образуется в процессе затвердевания отливки, из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах. В сталях и чугунах заметно ликвируют сера, фосфор и углерод. Различают ликвацию *зональную*, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и *дендритную*, когда химическая неоднородность наблюдается в каждом зерне.

2.3. Литейные сплавы

Чугун является наиболее распространенным материалом для получения фасонных отливок. Чугунные отливки составляют около 80 % всех отливок.

Широкое распространение чугуна получил благодаря хорошим технологическим свойствам и относительной дешевизне. Отливки из серого чугуна в 1,5 раза дешевле, чем стальные, в несколько раз – чем из цветных металлов. Область применения чугунов расширяется вследствие непрерывного повышения его прочностных и технологических характеристик. Используют серые, высокопрочные, ковкие и легированные чугуны.

Сталь как литейный материал применяют для получения отливок деталей, которые наряду с высокой прочностью должны обладать хорошими пластическими свойствами. Чем ответственнее машина, тем более значительна доля стальных отливок, идущих на ее изготовление. Стальное литье составляет: в тепловозах – 40÷50 % от массы машины; в энергетическом и тяжелом машиностроении (колеса гидравлических турбин с массой 85 т, иногда несколько сотен тонн) – до 60 %.

Стальные отливки после соответствующей термической обработки не уступают по механическим свойствам поковкам.

Используются: углеродистые стали 15Л...55Л; легированные стали 25ГСЛ, 30ХГСЛ, 110Г13Л; нержавеющие стали 10Х13Л, 12Х18Н9ТЛ и др. Среди литейных материалов из сплавов цветных металлов широкое применение нашли медные и алюминиевые сплавы.

Медные сплавы – бронзы и латуни.

Латуни – наиболее распространенные медные сплавы. Для изготовления различной аппаратуры, работающей при температуре 300 °С, таких деталей, как втулок и сепараторов подшипников, нажимных винтов и гаек прокатных станков, червячных винтов применяют сложнолегированные латуни. Обладают хорошей износостойкостью, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью.

Из *оловянных бронз* (БрОЗЦ7С5Н1) изготавливают арматуру, шестерни, подшипники, втулки.

Безоловянные бронзы по некоторым свойствам превосходят оловянные. Они обладают более высокими механическими свойствами, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью. Однако литейные свойства их хуже. Применяют для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжело нагруженных шестерен и зубчатых колес, корпусов насосов, деталей химической и пищевой промышленности.

Алюминиевые сплавы. Отливки из алюминиевых сплавов составляют около 70 % цветного литья. Они обладают высокой удельной прочностью, высокими литейными свойствами, коррозионной стойкостью в атмосферных условиях.

Наиболее высокими литейными свойствами обладают сплавы системы алюминий – кремний (*Al-Si*) – силумины АЛ2, АЛ9. Они широко применяются в машиностроении, автомобильной и авиационной промышленности, электротехнической промышленности.

Также используются сплавы систем: алюминий – медь, алюминий – медь – кремний, алюминий – магний.

Магниевого сплавы обладают высокими механическими свойствами, но их литейные свойства невысоки. Сплавы системы магний – алюминий – цинк – марганец применяют в приборостроении, в авиационной промышленности, в текстильном машиностроении.

2.4. Способы изготовления отливок

Для изготовления отливок служит литейная форма, которая представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка.

Литейные формы изготавливают как из неметаллических (керамических) материалов (песчаные формы; формы, изготавливаемые по выплавляемым моделям; оболочковые формы) для одноразового

использования, так и из металлов (кокили, пресс-формы, изложницы для центробежного литья) для многократного использования.

2.4.1. Изготовление отливок в песчаных формах

Литье в песчаные формы является универсальным и самым распространенным способом изготовления отливок. Изготавливают отливки из чугуна, стали, цветных металлов от нескольких грамм до сотен тонн, с толщиной стенки от 3 до 1000 мм и длиной до 10000 мм. Характеризуется большим расходом формовочных материалов, необходимостью в больших производственных площадях и высококвалифицированных рабочих. Схема технологического процесса (ТП) изготовления отливок в песчаных формах представлена на рис. 14.

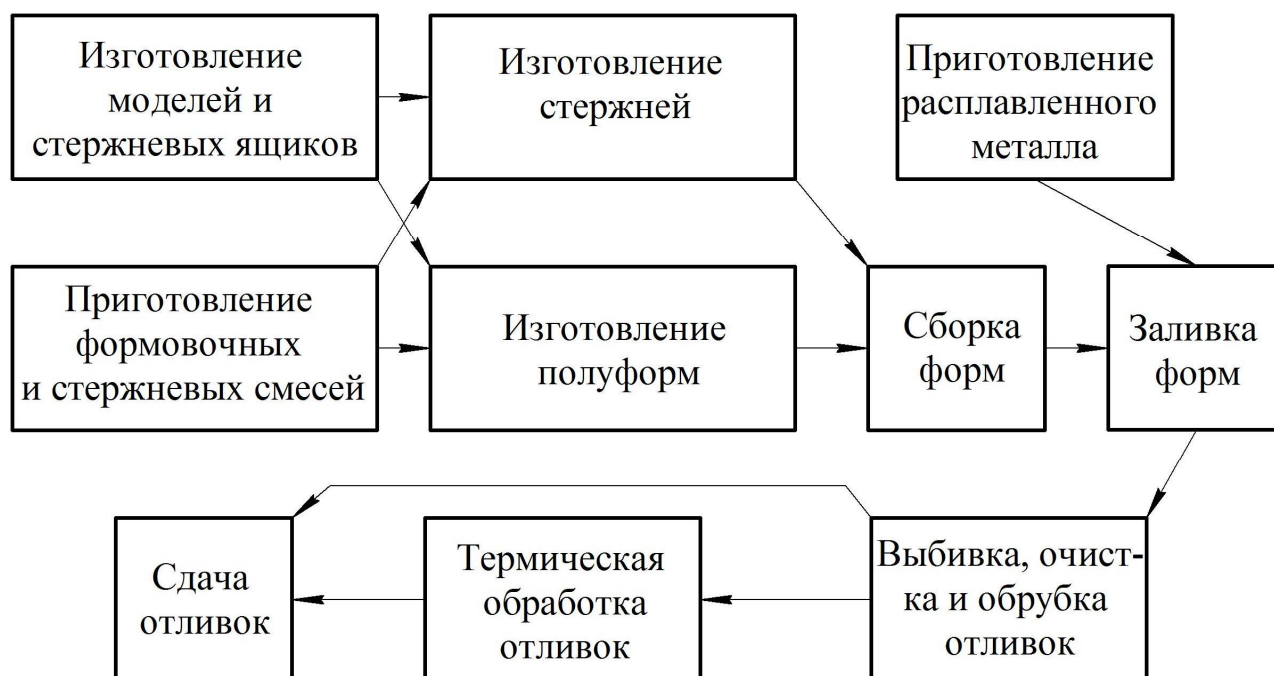


Рис. 14. Схема ТП изготовления отливок в песчаных формах

Сущность литья в песчаные формы (рис. 15) заключается в получении отливок из расплавленного металла, затвердевшего в формах, которые изготовлены из формовочных смесей путем уплотнения с использованием модельного комплекта. Литейная форма обычно состоит из верхней 1 и нижней 2 полуформ, которые изготавливаются в опоках 7, 8 – приспособлениях для удержания формовочной смеси. Полуформы ориентируют с помощью штырей 10, которые вставляют в отверстия ручек опок 11.

Для образования полостей отверстий или иных сложных контуров в формы устанавливают литейные стержни 3, которые фикси-

руют посредством выступов, входящих в соответствующие впадины формы (знаки).

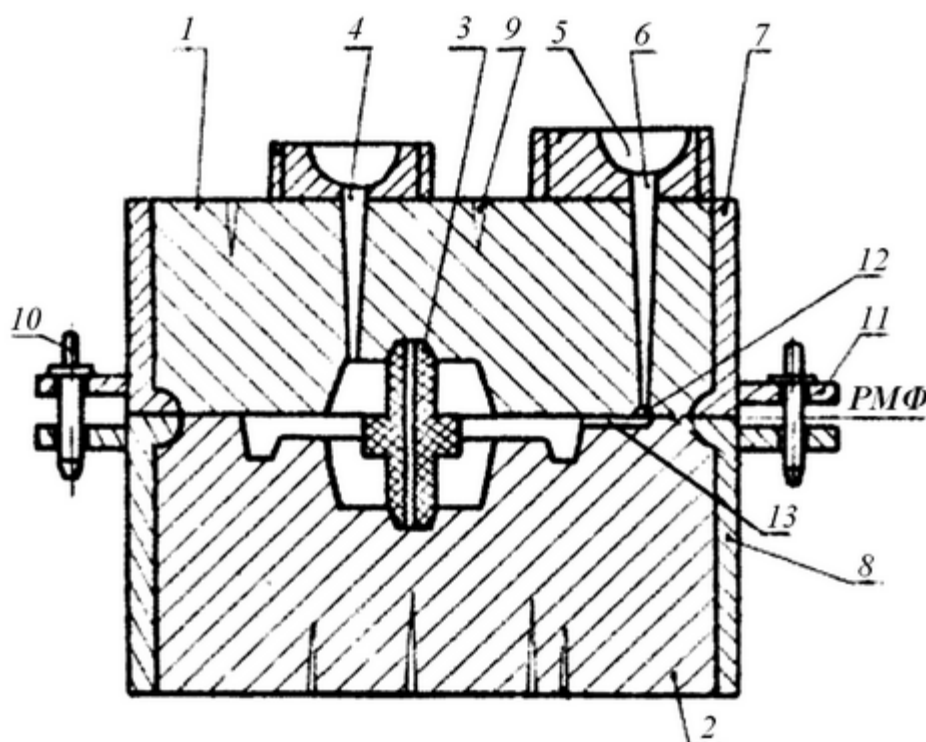


Рис. 15. Литейная форма

Литейную форму заливают расплавленным металлом через литниковую систему. Литниковая система – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из разливочного ковша в полость формы.

Основными элементами являются: литниковая чаша 5, которая служит для приема расплавленного металла и подачи его в форму; стояк 6 – вертикальный или наклонный канал для подачи металла из литниковой чаши в рабочую полость или к другим элементам; шлакоуловитель 12, с помощью которого удерживается шлак и другие неметаллические примеси; питатель 13 – один или несколько, через которые расплавленный металл подводится в полость литейной формы. Для вывода газов, контроля заполнения формы расплавленным металлом и питания отливки при ее затвердевании служат прибыли или выпор 4. Для вывода газов предназначены и вентиляционные каналы 9.

Различают литниковые системы (рис. 16) с питателями, расположенными в горизонтальной и вертикальной плоскостях. По способу подвода расплава в рабочую полость формы литниковые системы делят: на нижнюю, верхнюю и боковую.

Боковая литниковая система (рис. 16, а). Подвод металла осуществляется в среднюю часть отливки по разьему формы, при этом сим-

метричное расположение отливки необязательно. Конструкция проста и легко выполнима при изготовлении форм. Такую систему применяют при получении отливок из различных сплавов, малых и средних по массе деталей, плоскость симметрии которых совпадает с плоскостью разъема формы. Является промежуточной между верхней и нижней и сочетает в себе некоторые их достоинства и недостатки.

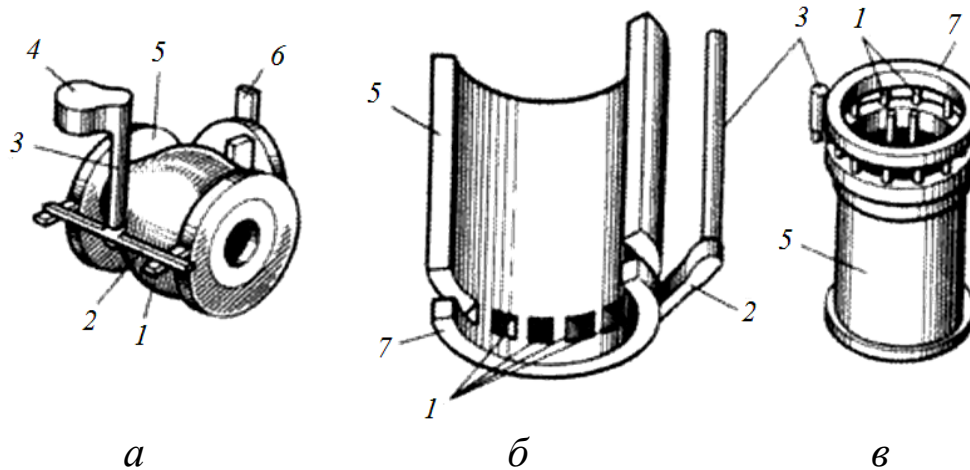


Рис. 16. Разновидности литниковых систем:
а – боковая; б – нижняя; в – верхняя

Нижняя литниковая система (рис. 16, б) – широко используется для литья сплавов, легко окисляющихся и насыщающихся газами (алюминий), обеспечивает спокойный подвод расплава к рабочей полости формы и постепенное заполнение ее поступающим снизу, без открытой струи металлом. При этом усложняется конструкция литниковой системы, увеличивается расход металла на нее, создается неблагоприятное распределение температур в залитой форме ввиду сильного разогрева ее нижней части. Возможно образование усадочных дефектов и внутренних напряжений. При такой системе ограничена возможность получения высоких тонкостенных отливок (при литье алюминиевых сплавов форма не заполняется металлом, если отношение высоты отливки к толщине ее стенки превышает 60 ($H/\delta \geq 60$)). Нижний подвод через большое количество питателей часто используется при изготовлении сложных по форме, крупных отливок из чугуна.

Верхняя литниковая система (рис. 16, в). Достоинствами системы являются: малый расход металла; подача расплава сверху обеспечивает благоприятное распределение температуры в залитой форме (температура увеличивается от нижней части к верхней), а следовательно, и благоприятные условия для направленной кристаллизации и питания

отливки. Недостатки: падающая сверху струя может размыть песчаную форму, вызывая засоры; при разбрызгивании расплава возникает опасность его окисления и замешивания воздуха в поток с образованием оксидных включений; затрудняется улавливание шлака. Верхнюю литниковую систему применяют для невысоких (в положении заливки) отливок, небольшой массы и несложной формы, изготовленных из сплавов, не склонных к сильному окислению в расплавленном состоянии (чугуны, углеродистые конструкционные стали, латуни).

При подводе металла снизу или сверху иногда используют массивные коллекторы.

2.4.1.1. Приготовление формовочных и стержневых смесей

Для приготовления смесей используются природные и искусственные материалы.

Песок – основной компонент формовочных и стержневых смесей. Обычно используется кварцевый или цирконовый песок из кремнезема SiO_2 .

Глина является связующим веществом, обеспечивающим прочность и пластичность, обладающим термической устойчивостью. Широко применяют бентонитовые или каолиновые глины.

Для предотвращения пригара и улучшения чистоты поверхности отливок используют противопопригарные материалы: для сырых форм – припылы; для сухих форм – краски.

В качестве припылов используют: для чугунных отливок – смесь оксида магния, древесного угля, порошкообразного графита; для стальных отливок – смесь оксида магния и огнеупорной глины, пылевидный кварц.

Противопригарные краски представляют собой водные суспензии этих материалов с добавками связующих.

Смеси должны обладать рядом свойств.

Прочность – способность смеси обеспечивать сохранность формы без разрушения при изготовлении и эксплуатации.

Поверхностная прочность (осыпаемость) – сопротивление истирающему действию струи металла при заливке.

Пластичность – способность воспринимать очертание модели и сохранять полученную форму.

Податливость – способность смеси сокращаться в объеме под действием усадки сплава.

Текучесть – способность смеси обтекать модели при формовке, заполнять полость стержневого ящика.

Термохимическая устойчивость или непригарность – способность выдерживать высокую температуру сплава без оплавления или химического с ним взаимодействия.

Негигроскопичность – способность после сушки не поглощать влагу из воздуха.

Долговечность – способность сохранять свои свойства при многократном использовании.

По характеру использования различают облицовочные, наполнительные и единые смеси.

Облицовочная – используется для изготовления рабочего слоя формы. Содержит повышенное количество исходных формовочных материалов и имеет высокие физико-механические свойства.

Наполнительная – используется для заполнения формы после нанесения на модель облицовочной смеси. Приготавливается путем переработки оборотной смеси с малым количеством исходных формовочных материалов.

Облицовочная и наполнительная смеси необходимы для изготовления крупных и сложных отливок.

Единая – применяется одновременно в качестве облицовочной и наполнительной. Используют при машинной формовке и на автоматических линиях в серийном и массовом производстве. Изготавливается из наиболее огнеупорных песков и глин с наибольшей связующей способностью для обеспечения долговечности.

2.4.1.2. Приготовление формовочных смесей

Сначала подготавливают песок, глину и другие исходные материалы. Песок сушат и просеивают. Глину сушат, размельчают, размалывают в шаровых мельницах или бегунах и просеивают. Аналогично получают угольный порошок.

Подготавливают оборотную смесь. Оборотную смесь после выбивки из опок разминают на гладких валках, очищают от металлических частиц в магнитном сепараторе и просеивают.

Приготовление формовочной смеси включает несколько операций: перемешивание компонентов смеси, увлажнение и разрыхление.

Перемешивание осуществляется в смесителях-бегунах с вертикальными или горизонтальными катками. Песок, глину, воду и другие

составляющие загружают при помощи дозатора, перемешивание осуществляется под действием катков и плужков, подающих смесь под катки.

Готовая смесь выдерживается в бункерах-отстойниках в течение 2÷5 ч, для распределения влаги и образования водных оболочек вокруг глинистых частиц. Затем ее разрыхляют в специальных устройствах и подают на формовку.

2.4.1.3. Стержневая смесь

Стержневые смеси имеют более высокие физико-механические свойства по сравнению с формовочными смесями, так как литейные стержни испытывают тепловые и механические воздействия.

Огнеупорность – способность смеси и формы сопротивляться растяжению или расплавлению под действием температуры расплавленного металла.

Газопроницаемость – способность смеси пропускать через себя газы (песок способствует ее повышению).

В зависимости от способа изготовления стержней смеси разделяют: на смеси с отверждением стержней тепловой сушкой в нагреваемой оснастке; жидкие самоотвердеющие; жидкие холодноотвердеющие смеси на синтетических смолах; жидкостекольные смеси, отверждаемые углекислым газом.

Приготовление стержневых смесей осуществляется перемешиванием компонентов в течение 5÷12 мин с последующим выстаиванием в бункерах.

В современном литейном производстве изготовление смесей осуществляется на автоматических участках.

2.4.1.4. Модельный комплект

Модельный комплект – приспособления, включающие литейную модель, модели литниковой системы, стержневые ящики, модельные плиты, контрольные и сборочные шаблоны.

Литейная модель – приспособление, с помощью которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации и размерам отливки. Размеры модели больше размеров отливки на величину линейной усадки сплава. Применяют модели разъемные и неразъемные, деревянные, металлические и пластмассовые.

Деревянные модели (сосна, бук, ясень) лучше изготавливать не

из целого куска, а склеивать из отдельных брусочков с разным направлением волокон, для предотвращения коробления. Для лучшего удаления модели из формы ее окрашивают: чугун – красный, сталь – синий. Достоинства: дешевизна, простота изготовления, малый вес. Недостаток: недолговечность.

Металлические модели характеризуются большей долговечностью, точностью и чистой рабочей поверхностью. Изготавливаются из алюминиевых сплавов – легкие, не окисляются, хорошо обрабатываются. Для уменьшения массы модели делают пустотелыми с ребрами жесткости. Применяют в серийном и массовом производстве, для машинной формовки.

Модели из пластмасс устойчивы к действию влаги при эксплуатации и хранении, не подвергаются короблению, имеют малую массу.

Стержневой ящик – формообразующее изделие, имеющее рабочую полость для получения в ней литейного стержня нужных размеров и очертаний из стержневой смеси. Обеспечивает равномерное уплотнение смеси и быстрое извлечение стержня. Изготавливают из тех же материалов, что и модели. Могут быть разъемными и неразъемными (вытряхными), а иногда с нагревателями.

Изготовление стержней может осуществляться вручную и на специальных стержневых машинах.

Модельные плиты формируют разъем литейной формы, на них закрепляют части моделей. Используют для изготовления опочных и безопочных полуформ.

Для машинной формовки применяют координатные модельные плиты и плиты со сменными вкладышами (металлическая рамка плюс металлические или деревянные вкладыши).

2.4.1.5. Изготовление литейных форм

Основными операциями изготовления литейных форм являются: уплотнение формовочной смеси для получения точного отпечатка модели в форме и придание форме достаточной прочности; устройство вентиляционных каналов для вывода газов из полости формы; извлечение модели из формы; отделка и сборка формы. Формы изготавливаются вручную, на формовочных машинах и на автоматических линиях.

Ручная формовка применяется для получения одной или нескольких отливок в единичном и мелкосерийном производстве,

а также в условиях опытного производства, в ремонтном производстве, для крупных отливок массой 200÷300 т. Приемы ручной формовки: в парных опоках по разъемной модели; формовка шаблонами; формовка в кессонах.

Формовка в парных опоках по разъемной модели наиболее широко применяется в литейном производстве. На рис. 17 показана формовка по разъемной модели. Отливаемая деталь (рис. 17, а) формируется по модели со знаками 1 для стержня, образующего полость в отливке (рис. 17, б).

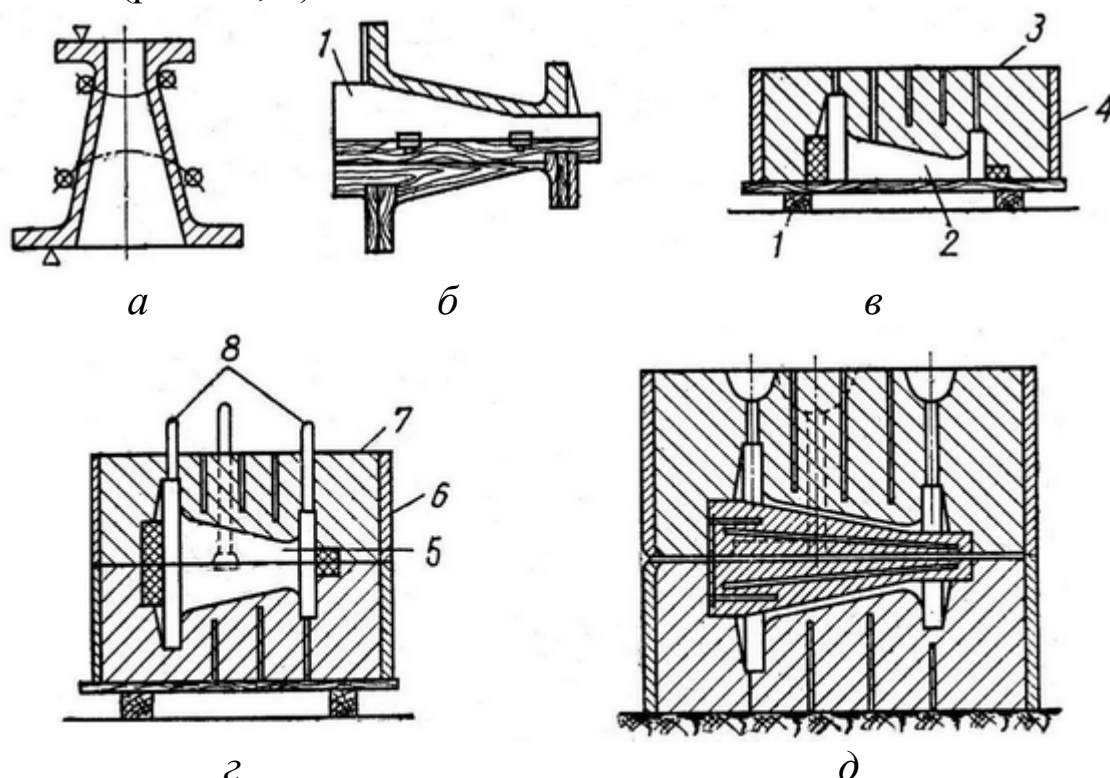


Рис. 17. Последовательность изготовления формы в парных опоках

На модельную плиту 1 (рис. 17, в) сначала устанавливают половину модели 2, а затем опоку 4, модель посыпают тонким слоем припыла и обкладывают облицовочной смесью, а затем всю опоку набивают наполнительной смесью. После этого с верхней стороны снимают излишек смеси и производят наклады газоотводных каналов 3. Затем полуформу поворачивают на 180° и ставят на модельную плиту (рис. 17, z). После этого поверхность разъема присыпают разделительным песком. На нижнюю половину модели накладывают верхнюю 5, строго центрируя ее по шипам, затем ставят опоку б, модели стояка 7, выпоров 8 и набивают их в том же порядке, как и нижнюю полуформу. Затем заглаживают верхнюю поверхность, накалывают каналы, оформляют очертания литниковой чаши и извлекают модели стояка 7

и выпоров 8. Потом снимают и поворачивают на 180° верхнюю полуформу. Из обеих полуформ извлекают модели, заглаживают поврежденные места, присыпают припылом, устанавливают стержень в нижнюю полуформу, накрывают ее верхней полуформой, скрепляют и (или) нагружают форму для заливки металлом (рис. 17, д).

Шаблонная формовка (рис. 18) применяется для получения отливок, имеющих конфигурацию тел вращения в единичном производстве. Шаблон – профильная доска.

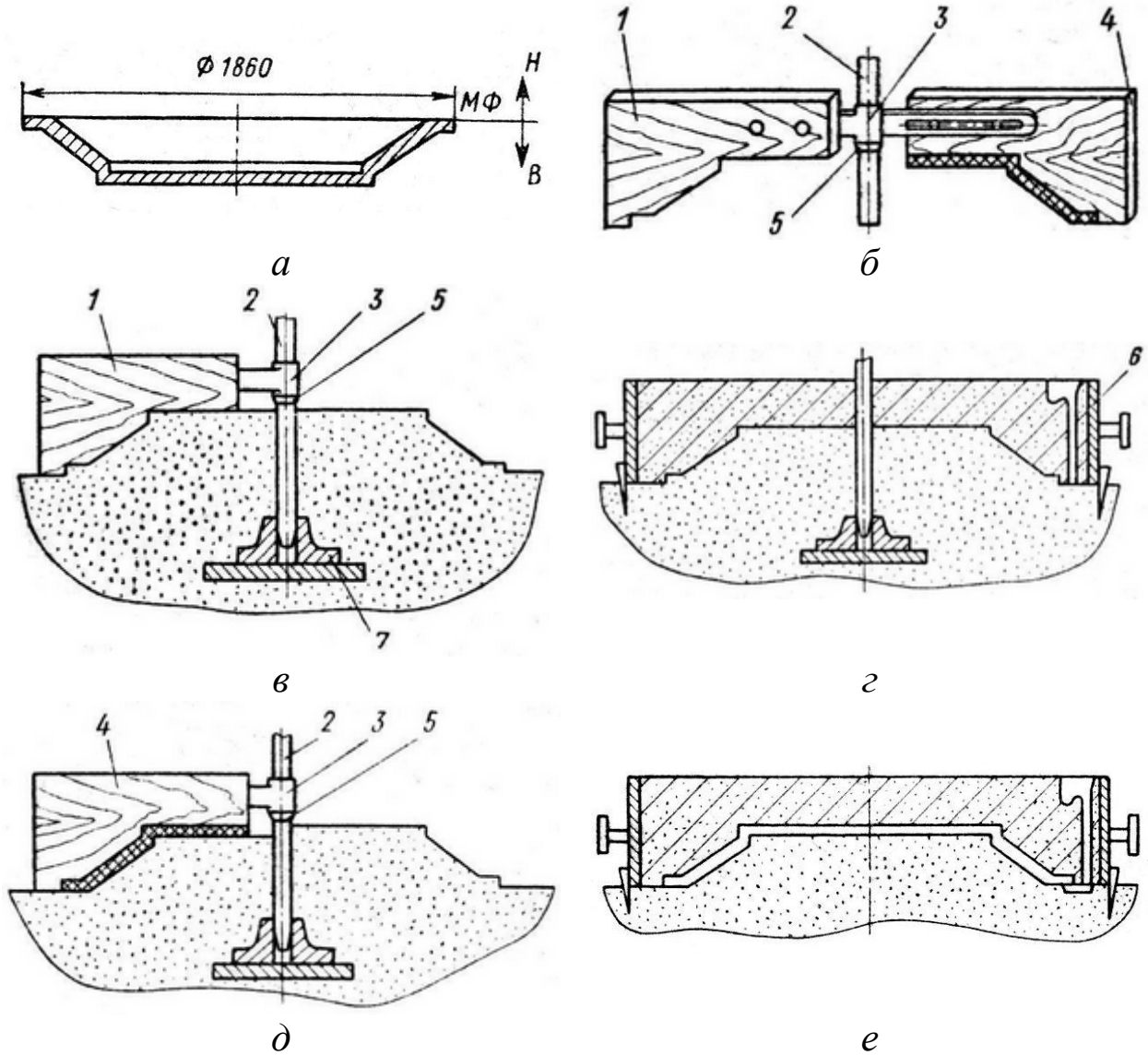


Рис. 18. Шаблонная формовка

В уплотненной формовочной смеси вращением шаблона 1, закрепленного на шпинделе 2 при помощи серьги 3, оформляют наружную поверхность отливки (рис. 18, в) и используют ее как модель для формовки в опоке верхней полуформы б (рис. 18, г). Снимают серьгу с шаблоном, плоскость разъема покрывают разделительным слоем сухого кварцевого песка, устанавливают модели

литниковой системы, опоку, засыпают формовочную смесь и уплотняют ее. Затем снимают верхнюю полуформу. В подпятник 7 устанавливают шпindel с шаблоном 4, которым оформляют нижнюю полуформу, сжимая слой смеси, равный толщине стенки отливки (рис. 18, д). Снимают шаблон, удаляют шпindel, отделяют болван и устанавливают верхнюю полуформу (рис. 18, е). В готовую литейную форму заливают расплавленный металл.

Формовкой в кессонах получают крупные отливки массой до 200 т. Кессон – железобетонная яма, расположенная ниже уровня пола цеха, водонепроницаемая для грунтовых вод. Механизированный кессон имеет две подвижные и две неподвижные стенки из чугуновых плит. Дно состоит из полых плит, которые можно продувать для ускорения охлаждения отливок. Кессон имеет механизм для передвижения стенок и приспособлен для установки и закрепления верхней полуформы.

Машинная формовка используется в массовом и серийном производстве, а также для мелких серий и отдельных отливок. Она повышает производительность труда, улучшает качество форм и отливок, снижает брак, облегчает условия работы. По характеру уплотнения различают машины: прессовые, встряхивающие и другие.

Уплотнение прессованием может осуществляться по различным схемам, выбор которой зависит от размеров формы моделей, степени и равномерности уплотнения и других условий.

В машинах с верхним уплотнением (рис. 19, а) уплотняющее давление действует сверху. При подаче сжатого воздуха в нижнюю часть цилиндра 1 прессовый поршень 2, стол 3 с прикрепленной к нему модельной плитой 4 с моделью поднимается. Прессовая колодка 7, закрепленная на траверсе 8, входит в наполнительную рамку 6 и уплотняет формовочную смесь в опоке 5. После прессования стол с модельной оснасткой опускают в исходное положение.

У машин с нижним прессованием формовочная смесь уплотняется самой моделью и модельной плитой.

Уплотнение встряхиванием происходит в результате многократно повторяющихся встряхиваний (рис. 19, б). Под действием сжатого воздуха, подаваемого в нижнюю часть цилиндра 1, встряхивающий поршень 2 и стол с закрепленной на нем модельной плитой 4 с моделью поднимается на 30÷100 мм до выпускного отверстия, затем падает. Формовочная смесь в опоке 5 и наполнительной рамке 6 уплотняется в результате появления инерционных сил. Способ характеризует-

ся неравномерностью уплотнения, которое устраняется допрессовкой с уплотнением верхних слоев.

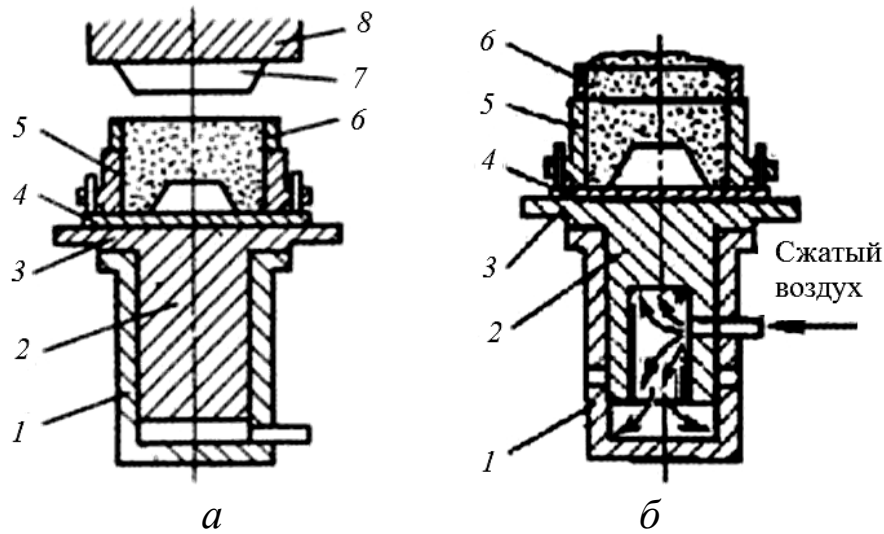


Рис. 19. Схемы способов уплотнения литейных форм при машинной формовке: *а* – прессованием; *б* – встряхиванием

Уплотнение пескометом осуществляется рабочим органом пескомета – метательной головкой. Формовочная смесь подается в головку непрерывно. Пескомет обеспечивает засыпку смеси и ее уплотнение. При вращении ковша ($1000 \div 1500 \text{ мин}^{-1}$) формовочная смесь выбрасывается в опоку со скоростью $30 \div 60 \text{ м/с}$. Метательная головка может перемещаться над опокой. Пескомет – высокопроизводительная формовочная машина, его применяют при изготовлении крупных отливок в опоках и кессонах.

Безопасная автоматическая формовка используется при изготовлении форм для мелких отливок из чугуна и стали в серийном и массовом производстве. Изготовление литейных форм осуществляется на высокопроизводительных пескодувно-прессовых автоматических линиях (рис. 20).

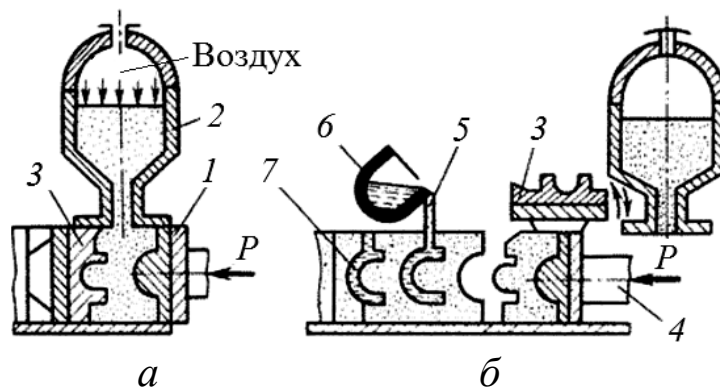


Рис. 20. Изготовление безопасных литейных форм на автоматической линии

Формовочная камера заполняется смесью с помощью сжатого воздуха из головки 2 (рис. 20, а). Уплотнение осуществляется при перемещении модельной плиты 1 плунжером 4. После уплотнения поворотная модельная плита 3 отходит влево и поворачивается в горизонтальное положение (рис. 20, б). Полуформа перемещается плунжером 4 до соприкосновения с предыдущим комом, образуя полость 5. Затем производят заливку металла из ковша 6. После затвердевания и охлаждения отливок, формы подаются на выбивную решетку, где отливки 7 освобождаются от формовочной смеси.

2.4.1.6. Изготовление стержней

Изготовление стержней осуществляется вручную или на специальных стержневых машинах из стержневых смесей.

Изготовление стержней включает операции: формовка сырого стержня, сушка, окраска сухого стержня. Если стержень состоит из нескольких частей, то после сушки их склеивают.

Ручная формовка осуществляется в стержневых ящиках. В готовых стержнях выполняют вентиляционные каналы. Для придания стержням необходимой прочности используются арматурные каркасы из стальной проволоки или литого чугуна.

Готовые стержни подвергаются сушке при температуре 200÷230 °С, для увеличения газопроницаемости и прочности. Во время сушки из стержня удаляется влага, частично или полностью выгорают органические примеси.

Часто стержни изготавливают на пескодувных машинах. При использовании смесей с синтетическими смолами, стержни изготавливают в нагреваемой оснастке.

Изготовление стержней из жидкостекольных смесей состоит в химическом отверждении жидкого стекла путем продувки стержня углекислым газом. Эти смеси повышают производительность и снижают себестоимость изготовления стержней, однако они трудновыбиваемые.

2.4.1.7. Приготовление расплава

Приготовление литейных сплавов связано с плавлением различных материалов. Для получения заданного химического состава и определенных свойств, в сплав в жидком или твердом состоянии вводят специальные легирующие элементы: хром, никель, марганец, титан и др.

Для плавления чугуна и стали в качестве исходных материалов применяют литейные или передельные доменные чугуны, чугунный и стальной лом, отходы собственного производства, а также для понижения температуры плавления и образования шлаков – флюсы (известняк).

Чугуны в основном выплавляют в вагранках. В последнее время развивается плавка в электрических печах, а также дуплекс-процесс, в особенности вариант вагранка – индукционная печь.

Плавку стали ведут в электродуговых, индукционных и плазменно-индукционных печах.

Для плавления цветных металлов используют как первичные, полученные на металлургических заводах, так и вторичные, после переплавки цветного лома, металлы и сплавы, а также – флюсы (хлористые и фтористые соли).

Для плавления применяют индукционные печи промышленной частоты, электрические печи сопротивления. Плавку тугоплавких металлов и сплавов ведут в вакууме или в среде защитных газов.

2.4.1.8. Сборка и заливка литейной формы

Сборка литейной формы включает: установку нижней полуформы; установку стержней, устойчивое положение которых обеспечивается стержневыми знаками; контроль отклонения размеров основных полостей формы; установку верхней полуформы по центрирующим штырям; фиксация верхней и нижней полуформ крепежными элементами, скобами или грузом.

Заливка форм расплавленным металлом осуществляется из ковшей чайникового, барабанного и других типов. Температуру расплавленного металла назначают на 100÷150 °С выше температуры плавления. Низкая температура увеличивает опасность незаполнения формы, захвата воздуха, ухудшения питания отливок. При высокой температуре металл больше насыщен газами, сильнее окисляется, возможен пригар на поверхности отливки. Заливку ведут непрерывно с условием заполненной постоянно литниковой чаши (воронки).

2.4.1.9. Охлаждение, выбивка и очистка отливок

Охлаждение отливок до температуры выбивки длится от нескольких минут (для небольших тонкостенных отливок) до не-

скольких суток и недель (для крупных толстостенных отливок). Для сокращения продолжительности охлаждения используют методы принудительного охлаждения: обдувают воздухом; при формовке укладывают змеевики, по которым пропускают воздух или воду.

Выбивка отливки – процесс удаления затвердевшей и охлажденной до определенной температуры отливки из литейной формы, при этом литейная форма разрушается. Осуществляют на специальных выбивных установках. Форма выталкивается из опоки выталкивателем на виброжелоб, по которому направляется на выбивную решетку, где отливки освобождаются от формовочной смеси. Выбивку стержней осуществляют вибрационно-пневматическими и гидравлическими устройствами.

Обрубка отливок – процесс удаления с отливки прибылей, литников, выпоров и заливов по месту сопряжения полуформ. Осуществляется пневматическими зубилами, ленточными и дисковыми пилами, при помощи газовой резки и на прессах.

После обрубки отливки зачищают, удаляя мелкие заливки, остатки выпоров и литников. Выполняют зачистку маятниковыми и стационарными шлифовальными кругами, пневматическими зубилами.

Очистка отливок – процесс удаления пригара, остатков формовочной и стержневой смесей с наружных и внутренних поверхностей отливок. Осуществляется в галтовочных барабанах периодического или непрерывного действия (для мелких отливок), в гидроспекоструйных и дробеметных камерах, а также химической или электрохимической обработкой.

2.4.2. Специальные способы литья

В современном литейном производстве все более широкое применение получают специальные способы литья: в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, кокильное, под давлением, центробежное и другие. Эти способы позволяют получать отливки повышенной точности, с малой шероховатостью поверхности, минимальными припусками на механическую обработку, а иногда полностью исключают ее, что обеспечивает высокую производительность труда, и повышение коэффициента использования металла. Каждый специальный способ литья имеет свои особенности, определяющие области применения.

2.4.2.1. Литье в оболочковые формы

Литье в оболочковые формы – процесс получения отливок из

расплавленного металла в формах, изготовленных по горячей модельной оснастке из специальных песчано-смоляных смесей. Формовочную смесь готовят из мелкого кварцевого песка с добавлением терморезактивных связующих материалов. Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы представлены на рис. 21.

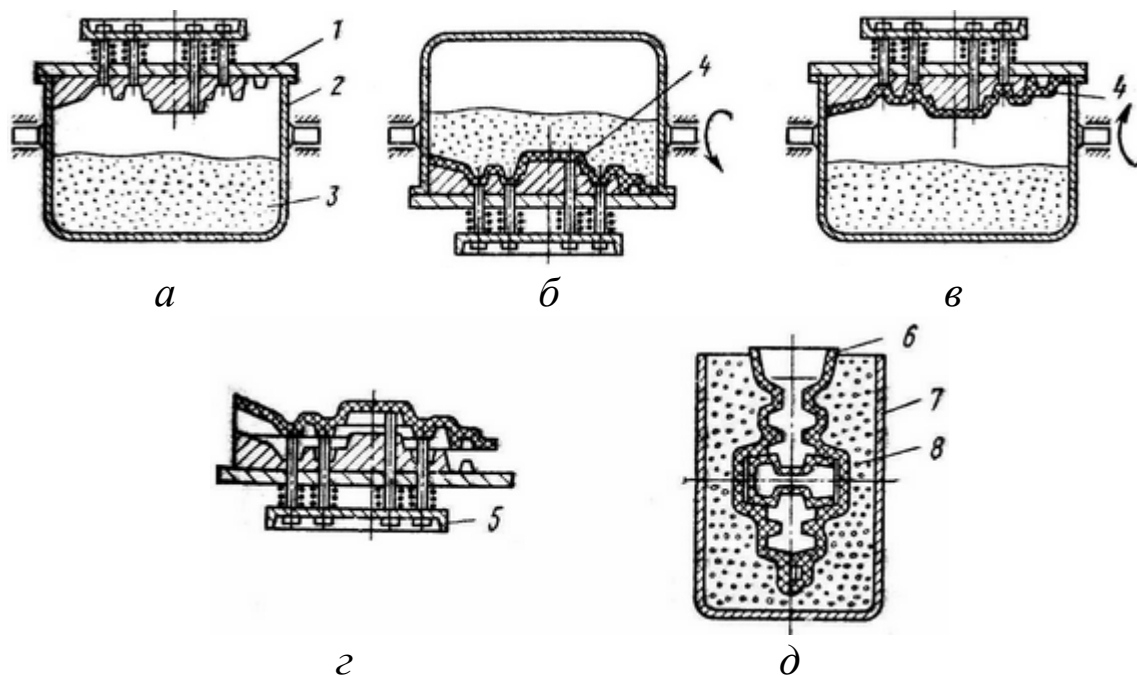


Рис. 21. Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы

Металлическую модельную плиту 1 с моделью нагревают в печи до $200 \div 250$ °С. Затем плиту 1 закрепляют на опрокидывающемся бункере 2 с формовочной смесью 3 (рис. 21, а) и поворачивают на 180° (рис. 21, б). Формовочную смесь выдерживают на плите $10 \div 30$ с. Под действием теплоты, исходящей от модельной плиты, терморезактивная смола в приграничном слое расплавляется, склеивает песчинки и отвердевает с образованием песчано-смоляной оболочки 4, толщиной $5 \div 15$ мм. Бункер возвращается в исходное положение (рис. 21, в), излишки формовочной смеси осыпаются с оболочки. Модельная плита с полутвердой оболочкой 4 снимается с бункера и прокаливается в печи при температуре $300 \div 350$ °С, при этом смола переходит в твердое необратимое состояние. Твердая оболочка снимается с модели с помощью выталкивателей 5 (рис. 21, г). Аналогичным образом получают вторую полуформу.

Для получения формы полуформы склеивают или соединяют другими способами, например при помощи струбцин, скоб и т.д. Собранные формы небольших размеров с горизонтальной плоскостью

разъема укладывают на слой песка. Формы с вертикальной плоскостью разъема *б* и крупные формы для предохранения от коробления и преждевременного разрушения устанавливают в контейнеры *7* и засыпают чугушной дробью *8* или сухим песком (рис. 21, *д*).

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, малую шероховатость поверхностей, снижает расход формовочных материалов (высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными) и объем механической обработки, является высокопроизводительным процессом.

В оболочковых формах изготавливают отливки массой $0,2 \div 100$ кг с толщиной стенки $3 \div 15$ мм из всех литейных сплавов для приборов, автомобилей, металлорежущих станков в крупносерийном и массовом производстве.

2.4.2.2. Литье по выплавляемым моделям

Литье по выплавляемым моделям (рис. 22) – процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, рабочая полость которых образуется благодаря удалению (вытеканию) легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании.

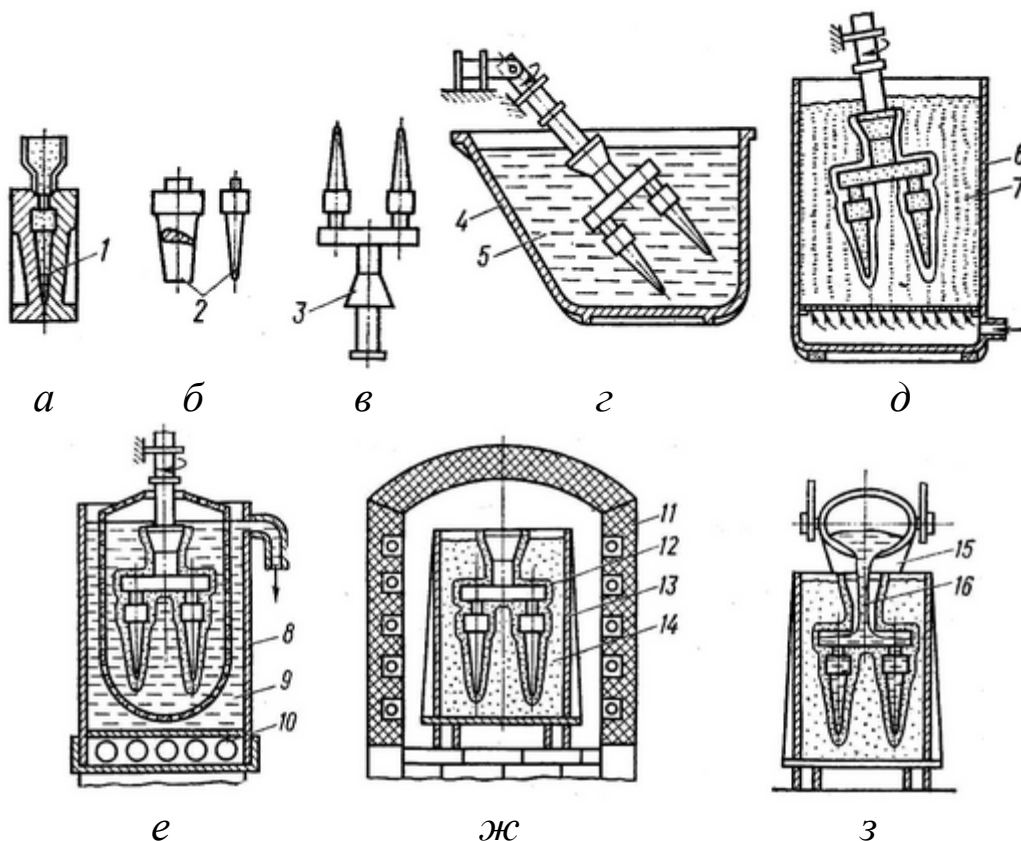


Рис. 22. Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям

Выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах 1 (рис. 22, а) из модельных составов, включающих парафин, воск, стеарин, жирные кислоты. Состав хорошо заполняет полость пресс-формы, дает четкий отпечаток. После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель 2 (рис. 22, б) выталкивается в холодную воду. Затем модели собираются в модельные блоки 3 (рис. 22, в) с общей литниковой системой припаиванием, приклеиванием или механическим креплением. В один блок объединяют от 2 до 100 моделей.

Формы изготавливают многократным погружением модельного блока 3 в специальную жидкую огнеупорную смесь 5, налитую в емкость 4 (рис. 22, г), с последующей обсыпкой кварцевым песком (рис. 22, д). Затем модельные блоки сушат на воздухе или в среде аммиака. Обычно наносят от 3 до 5 слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя.

Модели из форм удаляют, погружая в горячую воду или с помощью нагретого пара (рис. 22, е). После удаления модельного состава тонкостенные литейные формы устанавливаются в опоке, засыпаются кварцевым песком, а затем прокаливают в печи в течение 6÷8 ч при температуре 850÷950 °С для удаления остатков модельного состава, испарения воды (рис. 22, ж).

Заливку форм по выплавляемым моделям производят сразу же после прокали в нагретом состоянии (рис. 22, з). Заливка может быть свободной, под действием центробежных сил, в вакууме и т.д. После затвердевания залитого металла и охлаждения отливок форма разрушается, отливки отделяют от литников механическими методами, направляют на химическую очистку, промывают и подвергают термической обработке.

Литье по выплавляемым моделям обеспечивает получение точных и сложных отливок из различных сплавов массой 0,02÷100 кг с толщиной стенки 0,5÷5,0 мм. Применяется в крупносерийном и точном массовом производстве, а также в мелкосерийном производстве, когда отливку другим способом получить невозможно.

Позволяет получать отливки из любых сплавов, в том числе из жаропрочных, с минимальными припусками на механическую обработку (0,2÷0,7 мм), дает возможность снизить трудоемкость изготовления деталей, уменьшить отходы дорогостоящих и дефицитных металлов, а также объединить отдельные детали в целые неразъемные литые узлы. Технологический процесс автоматизирован и механизирован.

Недостатком является сложность и длительность процесса производства отливок, применение специальной дорогостоящей оснастки.

2.4.2.3. Литье в металлические формы

Литье в металлические формы (кокили) получило большое распространение. Этим способом получают более 40 % всех отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, отливки из чугуна и стали.

Литье в кокиль – изготовление отливок из расплавленного металла в металлических формах-кокилях.

Формирование отливки происходит при интенсивном отводе теплоты от расплавленного металла, от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю, что обеспечивает более высокие плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных в песчаных формах.

Рабочую поверхность кокиля с вертикальной плоскостью разъема (рис. 23), состоящую из поддона 1, двух симметричных полуформ 2 и 3 и металлического стержня 4, предварительно нагретую до $150\div 180\text{ }^{\circ}\text{C}$, покрывают из пульверизатора 5 слоем огнеупорного покрытия (рис. 23, а) толщиной $0,3\div 0,8\text{ мм}$. Покрытие предохраняет рабочую поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой. Покрытия готовят из огнеупорных материалов (тальк, мел, графит), связующего материала (жидкое стекло) и воды. Затем с помощью манипулятора устанавливают песчаный стержень 6, с помощью которого в отливке выполняется полость (рис. 23, б). Половинки кокиля соединяют и заливают расплав. После затвердевания отливки 7 (рис. 23, в) и охлаждения ее до температуры выбивки кокиль раскрывают (рис. 23, г) и протягивают вниз металлический стержень 4. Отливка 7 удаляется манипулятором из кокиля (рис. 23, д).

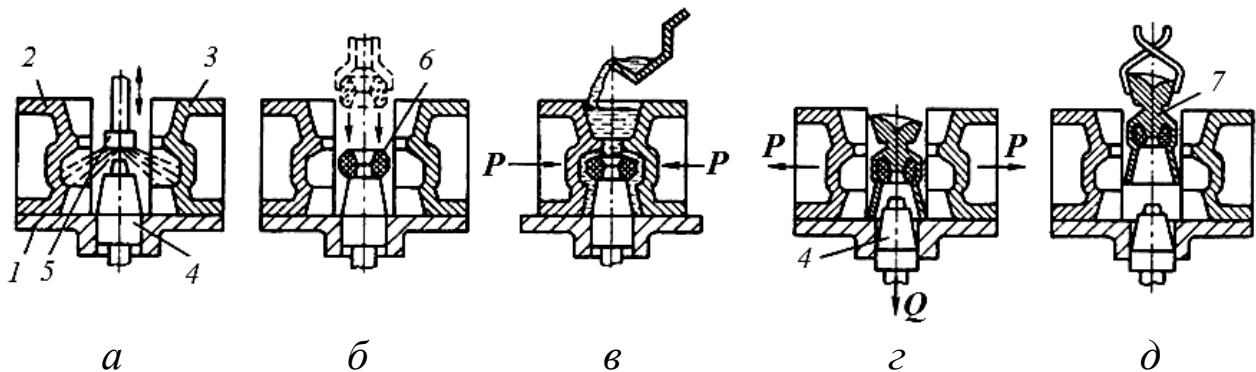


Рис. 23. Технологические операции изготовления отливки в кокиль

Отливки простой конфигурации изготавливают в неразъемных кокилях, несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружной поверхности – в кокилях с вертикальным разъемом. Крупные, простые по конфигурации отливки получают в кокилях

с горизонтальным разъемом. При изготовлении сложных отливок применяют кокили с комбинированным разъемом.

Расплавленный металл в форму подводят сверху, снизу (сифоном), сбоку. Для удаления воздуха и газов по плоскости разъема прорезают вентиляционные каналы.

Все операции технологического процесса литья в кокиль механизированы и автоматизированы. Используют однопозиционные и многопозиционные автоматические кокильные машины.

Литье в кокиль применяют в массовом и серийном производствах при изготовлении разнообразных несложных по конфигурации отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенки $3 \div 100$ мм, массой от нескольких граммов до пяти тонн. Отливки имеют мелкозернистую структуру, повышенные механические характеристики, минимальные припуски на механическую обработку.

Литье в кокиль позволяет сократить расход формовочных и стержневых смесей, трудоемкие операции формовки и выбивки форм, повысить точность размеров и снизить шероховатость поверхности, улучшить механические свойства.

Недостатки кокильного литья: высокая трудоемкость изготовления кокилей, их ограниченная стойкость, трудность изготовления сложных по конфигурации отливок.

2.4.2.4. Центробежное литье

При центробежном литье сплав заливается во вращающиеся формы. Формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок. Этим способом изготавливают отливки в металлических, песчаных, оболочковых формах и формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осью вращения.

Металлические формы изложницы изготавливают из чугуна и стали. Толщина изложницы в $1,5 \div 2$ раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом. На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы. Перед работой изложницы нагревают до 200 °С.

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси (рис. 24, а) металл из ковша 4 заливают во вра-

шающую форму 2, укрепленную на шпинделе 1, который вращается от электродвигателя. Под действием центробежных сил металл прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания отливки. После остановки формы отливка 3 извлекается. Отливки имеют разностенность по высоте – более толстое сечение в нижней части. Этот способ применяют для получения отливок небольшой высоты – коротких втулок, колец, фланцев.

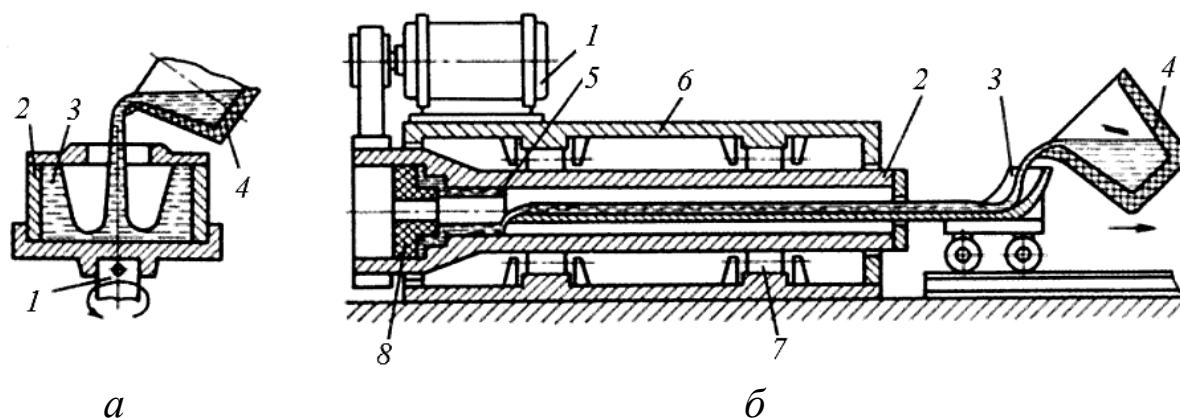


Рис. 24. Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем

При получении отливок типа тел вращения большой длины (трубы, втулки) на машинах с горизонтальной осью вращения (рис. 24, б) изложницу 2 устанавливают на опорные ролики 7 и закрывают кожухом 6. Изложница приводится в движение электродвигателем 1. Расплавленный металл из ковша 4 заливают через желоб 3, который в процессе заливки металла перемещается, что обеспечивает получение равностенной отливки 5. Для образования раструба трубы используют песчаный или оболочковый стержень 8. После затвердевания металла готовую отливку извлекают специальным приспособлением.

Скорость вращения формы зависит от диаметра отливки и плотности сплава, определяется по формуле

$$n > \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot r}}, \quad (3)$$

где γ – плотность сплава; r – внутренний радиус отливки.

Центробежным литьем изготавливают отливки из чугуна, стали, сплавов титана, алюминия, магния и цинка (трубы, втулки, кольца, подшипники качения, бандажи железнодорожных и трамвайных вагонов). Масса отливок – от нескольких килограммов до 45 т. Толщина стенок – от нескольких миллиметров до 350 мм. Центробежным литьем

ем можно получить тонкостенные отливки из сплавов с низкой текучестью, что невозможно сделать при других способах литья.

Недостатки: наличие усадочной пористости, ликваций и неметаллических включений на внутренних поверхностях; возможность появления дефектов в виде продольных и поперечных трещин, газовых пузырей.

Преимущества: получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней, экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы, возможность получения двухслойных заготовок, что получается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь – чугун, чугун – бронза).

Используют автоматические и многопозиционные карусельные машины с управлением от ЭВМ.

2.4.2.5. Литье под давлением

Литьем под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливку металла в форму и формирование отливки осуществляют под давлением. Отливки получают на машинах литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры прессования располагаются горизонтально или вертикально.

На машинах с горизонтальной холодной камерой прессования расплавленный металл заливают в камеру прессования 4 (рис. 25, а). Затем металл плунжером 5, под давлением $40\div 100$ МПа, подается в полость пресс-формы (рис. 25, б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной 1 полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 2. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается, стержень 2 извлекается (рис. 25, в) и отливка 7 выталкивателями 6 удаляется из рабочей полости пресс-формы.

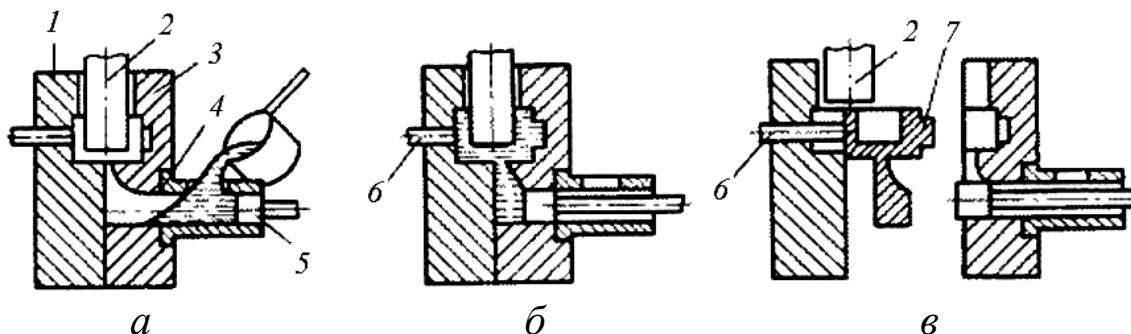


Рис. 25. Технологические операции изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования

Перед заливкой пресс-форму нагревают до $120\div 320$ °С. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают специальными материалами для предупреждения приваривания отливки. Воздух и газы удаляются через каналы, расположенные в плоскости разъема пресс-формы или вакуумированием рабочей полости перед заливкой металла. Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг.

На машинах с горячей камерой прессования (рис. 26) камера прессования 2 расположена в обогреваемом тигле 1 с расплавленным металлом. При верхнем положении плунжера 3 металл через отверстие 4 заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз отверстие перекрывается, сплав под давлением $10\div 30$ МПа заполняет полость пресс-формы 5. После затвердевания отливки плунжер возвращается в исходное положение, остатки расплавленного металла сливаются в камеру прессования, а отливка удаляется из пресс-формы выталкивателями 6.

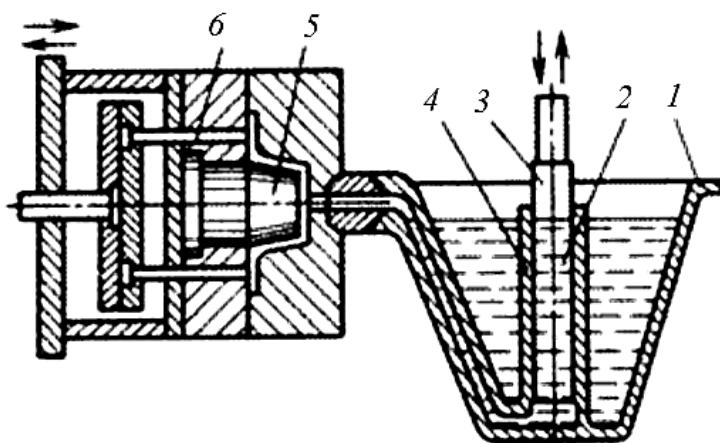


Рис. 26. Схема изготовления отливки на машинах с горячей камерой прессования

При литье под давлением температура заливки сплава выбирается на $10\div 20$ °С выше температуры плавления.

Литье под давлением применяют в массовом и крупносерийном производствах при изготовлении сложных по конфигурации отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм, с высокой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности, за счет тщательного полирования рабочей полости пресс-формы, без механической обработки или с минимальными припусками, с высокой производительностью процесса. Получают отливки из цветных сплавов и стали массой от нескольких граммов до 50 кг.

Недостатки: большая трудоемкость при изготовлении пресс-форм; высокая стоимость пресс-формы и оборудования; ограниченность габаритных размеров и массы отливок; наличие воздушной пористости в массивных частях отливки.

2.4.2.6. Электрошлаковое литье

Сущность процесса электрошлакового литья заключается в переплаве расходуемого электрода в водоохлаждаемой металлической форме (кристаллизаторе). При этом операции расплавления металла, его заливка и выдержка отливки в форме совмещены по месту и времени.

В качестве расходуемого электрода используется прокат. В кристаллизатор 6 (рис. 27) заливают расплавленный шлак 4 (фторид кальция или смесь на его основе), обладающий высоким электросопротивлением. При пропускании тока через электрод 7 и затравку 1 выделяется значительное количество теплоты, и шлаковая ванна нагревается до 1700 °С, происходит оплавление электрода. Капли расплавленного металла проходят через расплавленный шлак и образуют под ним металлическую ванну 3. Она в водоохлаждаемой форме затвердевает последовательно, образуя плотную без усадочных дефектов отливку 2. Внутренняя полость образуется металлической вставкой 5.

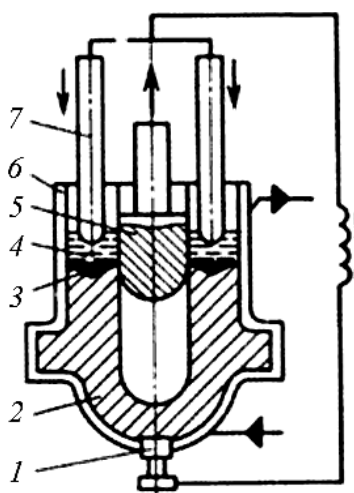


Рис. 27. Схема изготовления отливок электрошлаковым литьем

Расплавленный шлак способствует удалению кислорода, снижению содержания серы и неметаллических включений, поэтому получают отливки с высокими механическими и эксплуатационными свойствами. Изготавливаются отливки ответственного назначения массой до 300 т: корпуса клапанов и задвижек атомных и тепловых электростанций, коленчатые валы судовых двигателей, корпуса сосудов сверхвысокого давления, ротора турбогенераторов.

2.4.2.7. Изготовление отливок непрерывным литьем

При *непрерывном литье* (рис. 28) расплавленный металл из металлоприемника 1 через графитовую насадку 2 поступает в водоохлаждаемый кристаллизатор 3 и затвердевает в виде отливки 4, которая вытягивается специальным устройством 5. Длинные отливки разрезают на заготовки требуемой длины.

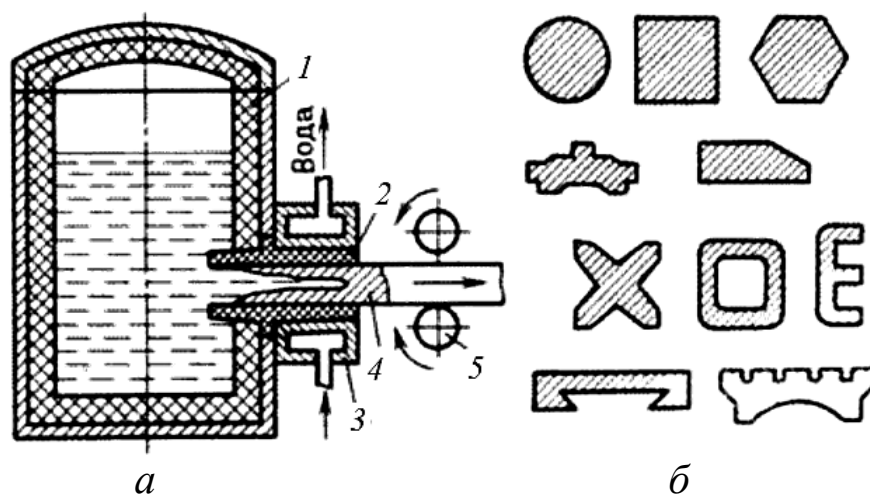


Рис. 28. Схема непрерывного литья (а) и разновидности получаемых отливок (б)

Используют при получении отливок с параллельными обрабатываемыми из чугуна, медных, алюминиевых сплавов. Отливки не имеют неметаллических включений, усадочных раковин и пористости, благодаря созданию направленного затвердевания отливок.

2.5. Особенности изготовления отливок из различных сплавов

1. *Чугунные отливки.* Преобладающее количество отливок из серого чугуна изготавливают в песчаных формах. Отливки получают, как правило, без применения прибылей.

При изготовлении отливок из серого чугуна в кокилях, в связи с повышенной скоростью охлаждения при затвердевании, начинает выделяться цементит – появление отбеливания. Для предупреждения отбела на рабочую поверхность кокиля наносят малотеплопроводные покрытия. Кокили перед работой нагревают, а чугун подвергают модифицированию. Для устранения отбела отливки подвергают отжигу. Отливки типа тел вращения (трубы, гильзы, втулки) получают центробежным литьем.

Отливки из высокопрочного чугуна преимущественно изготавли-

ют в песчаных формах, в оболочковых формах, литьем в кокиль, центробежным литьем. Достаточно высокая усадка чугуна вызывает необходимость создания условий направленного затвердевания отливок для предупреждения образования усадочных дефектов в массивных частях отливки путем установки прибылей и использования холодильников. Расплавленный чугун в полость формы подводят через сужающуюся литниковую систему и, как правило, через прибыль.

Особенностью получения отливок из ковкого чугуна является то, что исходный материал – белый чугун имеет пониженную жидкотекучесть, что требует повышенной температуры заливки при изготовлении тонкостенных отливок. Для сокращения продолжительности отжига чугуна модифицируют алюминием, бором, висмутом. Отливки изготавливают в песчаных формах, а также в оболочковых формах и кокилях.

2. Стальные отливки. Углеродистые и легированные стали – 15Л, 12Х18Н9ТЛ, 30ХГСЛ, 10Х13Л, 110Г13Л – литейные стали. Они имеют пониженную жидкотекучесть, высокую усадку до 2,5 % и склонны к образованию трещин. Стальные отливки изготавливают в песчаных и оболочковых формах, литьем по выплавляемым моделям, центробежным литьем.

Для предупреждения усадочных раковин и пористости в отливках на массивные части устанавливают прибыли, а в тепловых узлах – используют наружные или внутренние холодильники. Для предупреждения трещин формы изготавливают из податливых формовочных смесей, в отливках предусматривают технологические ребра.

Подачу расплавленного металла для мелких и средних отливок выполняют по разьему или сверху, а для массивных – сифоном. В связи с низкой жидкотекучестью площадь сечения питателей в 1,5÷2,0 раза больше, чем при литье чугуна.

Для получения высоких механических свойств стальные отливки подвергают отжигу, нормализации и другим видам термической обработки.

3. Алюминиевые сплавы. Основные литейные сплавы – сплавы системы алюминий – кремний (силумины). Силумины (АЛ2, АЛ4, АЛ9) имеют высокую жидкотекучесть, малую усадку (0,8÷1 %), не склонны к образованию горячих и холодных трещин, потому что по химическому составу близки к эвтектическим сплавам (интервал кристаллизации составляет 10÷30 °С). Остальные алюминиевые сплавы имеют низкую жидкотекучесть, повышенную усадку, склонны к образованию трещин. Отливки из алюминиевых сплавов изготавливают литьем в кокиль, под давлением и в песчаные формы.

Используют кокили с вертикальным разъемом. Для получения плотных отливок устанавливаются массивные прибыли. Металл подводят через расширяющиеся литниковые системы с нижним подводом металла к тонким сечениям отливки. Все элементы литниковой системы размещают в плоскости разъема кокиля.

4. Медные сплавы. Бронзы (БрО5Ц5С5, БрАЖЗЛ) и латуни (ЛЦ40Мц3А). Все медные сплавы склонны к образованию трещин. Отливки изготавливаются литьем в песчаные и оболочковые формы, а также литьем в кокиль, под давлением, центробежным.

Для предупреждения образования усадочных раковин и пористости в массивных узлах отливок устанавливают прибыли. Для предупреждения появления трещин в отливках используют форму с высокой податливостью.

Для плавного поступления металла применяют расширяющиеся литниковые системы с верхним, нижним и боковым подводом. Для отделения оксидных пленок в литниковой системе устанавливают фильтры из стеклоткани.

5. Титановые сплавы. Имеют высокую химическую активность в расплавленном состоянии. Они активно взаимодействуют с кислородом, азотом, водородом и углеродом. Плавку этих сплавов ведут в вакууме или в среде защитных газов.

Основной способ производства титановых отливок – литье в графитовые формы, в оболочковые формы из нейтральных оксидов магния, циркония. При изготовлении сложных тонкостенных отливок применяют формы, полученные по выплавляемым моделям.

2.6. Дефекты отливок

Дефекты отливок по внешним признакам подразделяют: на наружные (песчаные раковины, перекос, недолив); внутренние (усадочные и газовые раковины, горячие и холодные трещины).

Песчаные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки, которые возникают из-за низкой прочности формы и стержней, слабого уплотнения формы и других причин.

Перекос – смещение одной части отливки относительно другой, возникающее в результате небрежной сборки формы, износа центрирующих штырей, несоответствия знаковых частей стержня на модели и в стержневом ящике, неправильной установки стержня.

Недолив – дефект в виде неполного образования отливки

вследствие незаполнения полости формы металлом. Причинами недолива являются: недостаточное количество жидкого металла; низкая температура заливки и жидкотекучесть; малые сечения элементов литниковой системы.

Усадочные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки с шероховатой поверхностью и грубокристаллическим строением. Возникают при недостаточном питании массивных узлов, нетехнологичной конструкции отливки, заливке перегретым металлом, неправильной установке прибылей.

Газовые раковины – открытые или закрытые пустоты с чистой и гладкой поверхностью, которая возникает из-за недостаточной газопроницаемости формы и стержней, повышенной влажности формовочных смесей и стержней, насыщенности расплавленного металла газами.

Трещины горячие и холодные – разрывы в теле отливки, возникающие при заливке чрезмерно перегретым металлом, из-за неправильной конструкции литниковой системы, неправильной конструкции отливок, повышенной неравномерной усадки, низкой податливости форм и стержней.

Включения – дефекты в виде инородных металлических или неметаллических частиц, попавших в металл механическим путем. Выделяют металлическое и неметаллическое включения. Последнее образуется в результате: химического взаимодействия компонентов при расплавлении и заливке металла; замешивания в расплав механическим путем.

Отбел – твердые трудно поддающиеся механической обработке участки отливки из серого чугуна, вызванные скоплением структурно свободного цементита. Они характерны для тонких сечений отливок (стенок, ребер и т.п.), возникают при ускоренном охлаждении, но могут быть связаны с отклонениями химического состава.

Половинчатость – появление структуры серого чугуна (графита) в отливках из белого чугуна. Дефект характерен для массивных участков отливок и возникает при пониженных скоростях охлаждения.

Флокен – дефект в виде разрыва тела отливки в результате избыточного содержания водорода в стали и под действием внутренних напряжений. В изломе отливки флокен имеет вид пятна матового цвета с гладкой поверхностью.

3. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Обработкой давлением называются процессы получения заготовок или деталей машин силовым воздействием инструмента на исходную заготовку из исходного материала.

Пластическое деформирование при обработке давлением, состоящее в преобразовании заготовки простой формы в деталь более сложной формы того же объема, относится к малоотходной технологии.

Обработкой давлением получают не только заданную форму и размеры, но и обеспечивают требуемое качество металла, надежность работы изделия. Высокая производительность обработки давлением, низкая себестоимость и высокое качество продукции привели к широкому применению этих процессов.

3.1. Классификация процессов обработки давлением

Пластическое деформирование в обработке металлов давлением осуществляется при различных схемах напряженного и деформированного состояний, при этом исходная заготовка может быть объемным телом, прутком, листом.

По назначению процессы обработки металлов давлением группируют следующим образом:

– для получения изделий постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления деталей – прокатка, волочение, прессование;

– для получения деталей или заготовок, имеющих формы и размеры, приближенные к размерам и формам готовых деталей, требующих механической обработки для придания им окончательных размеров и заданного качества поверхности – ковка, штамповка.

Основными схемами деформирования объемной заготовки являются:

– деформирование металла между плоскостями инструмента – ковка;

– ротационное обжатие вращающимися валками – прокатка;

– деформирование металла в рабочей полости (ручьё) специального инструмента – штамповка;

– выдавливание металла из полости инструмента – прессование;

– вытягивание металла из полости инструмента – волочение.

Характер пластической деформации зависит от соотношения процессов упрочнения и разупрочнения. С. И. Губкиным предложено различать виды деформации и, соответственно, виды обработки давлением.

Горячая деформация – деформация, после которой металл не получает упрочнения. Рекристаллизация успевает пройти полностью, новые равноосные зерна полностью заменяют деформированные зерна, искажения кристаллической решетки отсутствуют. Деформация имеет место при температурах выше температуры начала рекристаллизации.

Неполная горячая деформация характеризуется незавершенностью процесса рекристаллизации, которая не успевает закончиться, так как скорость ее недостаточна по сравнению со скоростью деформации. Часть зерен остаются деформированными, и металл упрочняется. Возникают значительные остаточные напряжения, которые могут привести к разрушению. Такая деформация наиболее вероятна при температуре, незначительно превышающей температуру начала рекристаллизации. Ее следует избегать при обработке давлением.

При *неполной холодной деформации* рекристаллизация не происходит, но протекают процессы возврата. Температура деформации несколько выше температуры возврата, а скорость деформации меньше скорости возврата. Остаточные напряжения в значительной мере снимаются, интенсивность упрочнения снижается.

При *холодной деформации* разупрочняющие процессы не происходят. Температура холодной деформации ниже температуры начала возврата.

Холодная и горячая деформации не связаны с деформацией с нагревом или без нагрева, а зависят только от протекания процессов упрочнения и разупрочнения. Поэтому, например, деформация свинца, олова, кадмия и некоторых других металлов при комнатной температуре является с этой точки зрения горячей деформацией.

3.2. Схемы напряженного и деформированного состояний

Схемы напряженного состояния графически отображают наличие и направление главных напряжений в рассматриваемой точке тела (рис. 29). Напряжения в точке изображаются как напряжения на трех бесконечно малых гранях куба, соответственно перпендикулярных главным осям. Возможны девять схем напряженного состояния

(рис. 29, *a*). Напряженное состояние в точке может быть линейным, плоским или объемным.

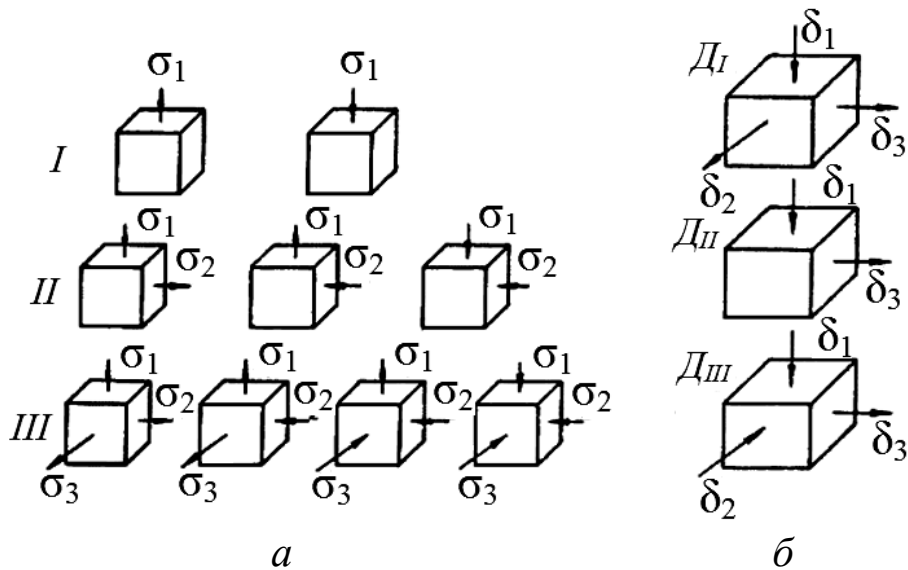


Рис. 29. Схемы напряженного (*a*) и деформированного (*б*) состояний: *I* – линейное напряженное состояние; *II* – плоское; *III* – объемное

Схемы с напряжениями одного знака называют одноименными, а с напряжениями разных знаков – разноименными. Условно растягивающие напряжения считают положительными, а сжимающие – отрицательными.

Схема напряженного состояния оказывает влияние на пластичность металла. На значение главных напряжений оказывают существенное влияние силы трения, возникающие в месте контакта заготовки с инструментом, и форма инструмента. В условиях всестороннего неравномерного сжатия при прессовании, ковке, штамповке сжимающие напряжения препятствуют нарушению межкристаллических связей, способствуют развитию внутрикристаллических сдвигов, что благоприятно сказывается на процессах обработки металлов давлением. В реальных процессах обработки давлением в большинстве случаев встречаются схемы всестороннего сжатия и состояния с одним растягивающим и двумя сжимающими напряжениями.

Схема деформированного состояния графически отображает наличие и направление деформации по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

Возможны три схемы деформированного состояния (рис. 29, *б*).

При схеме *Д_I* уменьшаются размеры тела по высоте, за счет этого увеличиваются два других размера (осадка, прокатка).

При схеме *Д_{II}* происходит уменьшение одного размера, чаще высоты, другой размер (длина) увеличивается, а третий (ширина) не

изменяется. Например, прокатка широкого листа, когда его ширина в процессе прокатки практически не изменяется. Это схема плоской деформации.

Наиболее рациональной с точки зрения производительности процесса обработки давлением является схема D_{III} : размеры тела уменьшаются по двум направлениям, и увеличивается третий размер (прессование, волочение).

Совокупность схем главных напряжений и главных деформаций характеризует пластичность металла. Напряженное состояние при прессовании металла характеризуется такой же схемой напряженного состояния, как при ковке, а схема главных деформаций характеризуется двумя деформациями сжатия и одной – растяжения. При ковке и штамповке растягивающие напряжения играют большую роль, поэтому пластичность металла меньше.

3.3. Закономерности обработки давлением

Процессам обработки металлов давлением присущи определенные закономерности.

Закон постоянства объема. Пластическая деформация практически не влияет на плотность металла, поэтому действует закон постоянства объема: объем тела при его пластической деформации остается неизменным:

$$H \cdot B \cdot L = h \cdot b \cdot l; \frac{h \cdot b \cdot l}{H \cdot B \cdot L} = 1, \quad (4)$$

где H – высота; B – ширина; L – длина – размеры тела до деформации; h – высота; b – ширина; l – высота – размеры тела после деформации.

Закон применяется для расчетов объема и размеров исходной заготовки, необходимой для получения поковки с заданными размерами, а также переходов и изменения размеров заготовки в процессе деформирования.

Закон подобия. При осуществлении в одинаковых условиях одних и тех же процессов пластического деформирования геометрически подобных тел из одинакового материала отношение усилий деформирования равно квадрату, а отношение затраченных работ – кубу отношений соответствующих линейных размеров. Этот закон, основанный на принципе моделирования, используется для приближенного определения усилий деформирования и затрачиваемой работы.

Закон наименьшего сопротивления. В случае возможности пере-

мещения точек деформируемого тела в различных направлениях, каждая точка перемещается в направлении наименьшего сопротивления.

Закон позволяет учесть предпочтительное направление течения металла, определить, какая часть полости штампа заполнится быстрее, какие размеры и форму будет иметь поперечное сечение заготовки в результате ее обработки давлением.

По этому закону, при наличии трения на контактной поверхности, заготовка прямоугольного сечения при осадке будет приобретать округлую форму, имеющую наименьший периметр при данной площади.

В этом случае направлением наименьшего сопротивления является кратчайшая нормаль к периметру сечения.

Деформацию принято оценивать следующими величинами.

1. Абсолютные деформации:

- $H-h = \Delta h$ – обжатие;
- $B-b = \Delta b$ – уширение;
- $L-l = \Delta l$ – удлинение.

2. Относительные деформации:

- $\Delta h/H$ или $\Delta h/h$ – относительное обжатие или относительная высотная деформация;
- $\Delta b/B$ или $\Delta b/b$ – относительное уширение или относительная поперечная деформация;
- $\Delta l/L$ или $\Delta l/l$ – относительное удлинение или относительная продольная деформация.

3. Коэффициент, определяющий изменение длины обрабатываемого изделия, $\mu = l/L$. Его называют *вытяжкой* или *коэффициентом вытяжки*.

Согласно закону постоянства объема $\mu = F/f$ (где F – площадь поперечного сечения до деформации; f – площадь поперечного сечения после деформации).

Скорость деформации – изменение относительной деформации в единицу времени:

$$W = \frac{d\varepsilon}{dt}; \quad W_{\text{ср}} = \frac{\varepsilon}{t} \left(c^{-1}, \frac{\%}{c} \right), \quad (5)$$

где ε – степень деформации; t – время.

Скорость деформации следует отличать от скорости движения деформирующего инструмента и скорости течения металла при деформации. Диапазон скоростей деформации составляет $10^{-1} \div 10^3, \text{ с}^{-1}$.

3.4. Технологические свойства

При выборе металла или сплава для изготовления изделия различными способами обработки давлением учитывается способность материала к данному методу обработки.

Ковкость – свойство металла изменять свою форму под действием ударов или давления, не разрушаясь.

Степень ковкости зависит от многих параметров. Наиболее существенным из них является пластичность, характеризующая способность материала деформироваться без разрушения. Чем выше пластичность материала, тем большую степень суммарного обжатия он выдерживает.

В условиях обработки металлов давлением на пластичность влияют многие факторы: состав и структура деформируемого металла, характер напряженного состояния при деформации, неравномерность деформации, скорость деформации, температура деформации и др. Изменяя те или иные факторы, можно изменять пластичность.

Состав и структура металла. Пластичность находится в прямой зависимости от химического состава материала. С повышением содержания углерода в стали пластичность падает. Большое влияние оказывают элементы, входящие в состав сплава как примеси. Олово, сурьма, свинец, сера не растворяются в металле и, располагаясь по границам зерен, ослабляют связи между ними. Температура плавления этих элементов низкая, при нагреве под горячую деформацию они плавятся, что приводит к потере пластичности.

Пластичность зависит от структурного состояния металла, особенно при горячей деформации. Неоднородность микроструктуры снижает пластичность. Однофазные сплавы, при прочих равных условиях, всегда пластичнее, чем двухфазные. Фазы имеют неодинаковые механические свойства, и деформация получается неравномерной. Мелкозернистые металлы пластичнее крупнозернистых. Металл слитков менее пластичен, чем металл прокатанной или кованой заготовки, так как литая структура имеет резкую неоднородность зерен, включения и другие дефекты.

Характер напряженного состояния. Один и тот же материал проявляет различную пластичность при изменении схемы напряженного состояния. Схема всестороннего сжатия является наиболее благоприятной для проявления пластических свойств, так как при этом затрудняется межзеренная деформация и вся деформация протекает

за счет внутризеренной. Появление в схеме растягивающих напряжений снижает пластичность. Самая низкая пластичность наблюдается при схеме всестороннего растяжения.

Неравномерность деформации. Чем больше неравномерность деформации, тем ниже пластичность. Неравномерность деформации вызывает появление дополнительных напряжений. Растягивающие напряжения всегда снижают пластичность и способствуют хрупкому разрушению. Кроме того, неравномерность напряженного состояния понижает механическую прочность материала, так как напряжения от внешней нагрузки суммируются с остаточными растягивающими напряжениями, то разрушение наступает при меньшей нагрузке.

Скорость деформации. С повышением скорости деформации в условиях горячей деформации пластичность снижается. Имеющаяся неравномерность деформации вызывает дополнительные напряжения, которые снимаются только в том случае, если скорость разупрочняющих процессов не меньше скорости деформации.

Влияние температуры. Качественная зависимость пластичности от температуры представлена на рис. 30.

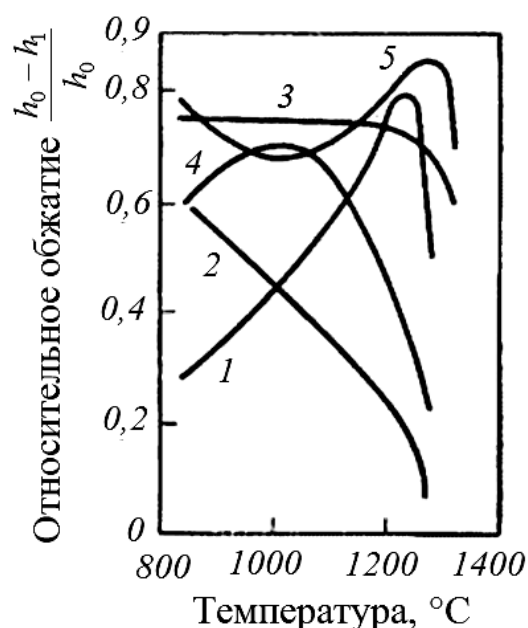


Рис. 30. Влияние температуры на пластичность сталей

Влияние температуры неоднозначно. Малоуглеродистые и среднеуглеродистые стали, с повышением температуры, становятся более пластичными (1). Высоколегированные стали имеют большую пластичность в холодном состоянии (2). Для шарикоподшипниковых сталей пластичность практически не зависит от температуры (3). Отдельные сплавы могут иметь интервал повышенной

пластичности (4). Техническое железо в интервале $800 \div 1000$ °С характеризуется понижением пластических свойств (5). При температурах, близких к температуре плавления, пластичность резко снижается из-за возможного перегрева и пережога.

3.5. Прокат и его производство

Прокатка – это способ обработки пластическим деформированием – наиболее распространенный. Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. Сущность процесса: заготовка обжимается (сдавливается), проходя в зазор между вращающимися валками, при этом она уменьшается в своем поперечном сечении и увеличивается в длину. Форма поперечного сечения называется профилем.

Процесс прокатки обеспечивается силами трения между вращающимся инструментом и заготовкой, благодаря которым заготовка перемещается в зазоре между валками, одновременно деформируясь. В момент захвата металла со стороны каждого валка действуют на металл две силы: нормальная сила N и касательная сила трения T (рис. 31).

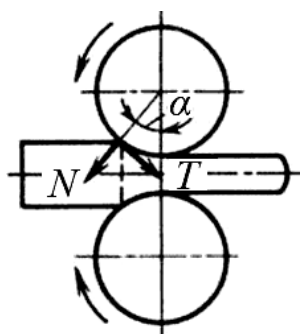


Рис. 31. Схема сил, действующих при прокатке

Угол α – угол захвата. Дуга, по которой валок соприкасается с прокатываемым металлом, называется дугой захвата, а объем металла между дугами захвата – очагом деформации.

Возможность осуществления прокатки определяется условием захвата металла валками или соотношением $T^I > N^I$, где T^I – втягивающая сила – проекция силы трения T на горизонтальную ось; N^I – выталкивающая сила – проекция нормальной реакции валков N на горизонтальную ось.

Для захвата металла валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата. Коэффициент трения можно увеличить применением насечки на валках.

3.5.1. Способы прокатки

Когда требуется высокая прочность и пластичность, применяют заготовки из сортового или специального проката. В процессе прокатки литые заготовки подвергают многократному обжатию в валках прокатных станов, в результате чего повышается плотность материала за счет устранения литейных дефектов, пористости, микротрещин. Это придает заготовкам из проката высокую прочность и герметичность при небольшой их толщине.

Существуют три основных способа прокатки, имеющих определенное отличие по характеру выполнения деформации: продольная, поперечная, поперечно-винтовая (рис. 32).

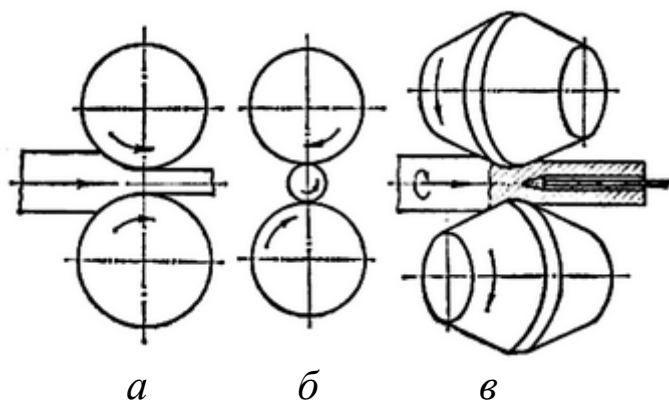


Рис. 32. Схемы основных видов прокатки:

а – продольная; *б* – поперечная; *в* – поперечно-винтовая

При *продольной* прокатке деформация осуществляется между вращающимися в разные стороны валками (рис. 32, *а*). Заготовка вытягивается в зазор между валками за счет сил трения. Этим способом изготавливается около 90 % проката: весь листовой и профильный прокат.

Поперечная прокатка (рис. 32, *б*). Оси прокатных валков и обрабатываемого тела параллельны или пересекаются под небольшим углом. Оба валка вращаются в одном направлении, а заготовка круглого сечения – в противоположном.

В процессе поперечной прокатки обрабатываемое тело удерживается в валках с помощью специального приспособления. Обжатие заготовки по диаметру и придание ей требуемой формы сечения обеспечивается профилировкой валков и изменением расстояния между ними. Данным способом производят специальные периодические профили, изделия, представляющие тела вращения, – шары, оси, шестерни.

Поперечно-винтовая прокатка (рис. 32, в). Валки, вращающиеся в одну сторону, установлены под углом друг к другу. Прокатываемый металл получает еще и поступательное движение. В результате сложения этих движений каждая точка заготовки движется по винтовой линии. Применяется для получения пустотелых трубных заготовок.

В качестве инструмента для прокатки применяют *валки прокатные*. В зависимости от прокатываемого профиля валки могут быть гладкими (рис. 33, а), применяемыми для прокатки листов, лент и т.п., и калиброванными (ручьевыми) для получения сортового проката (рис. 33, б).

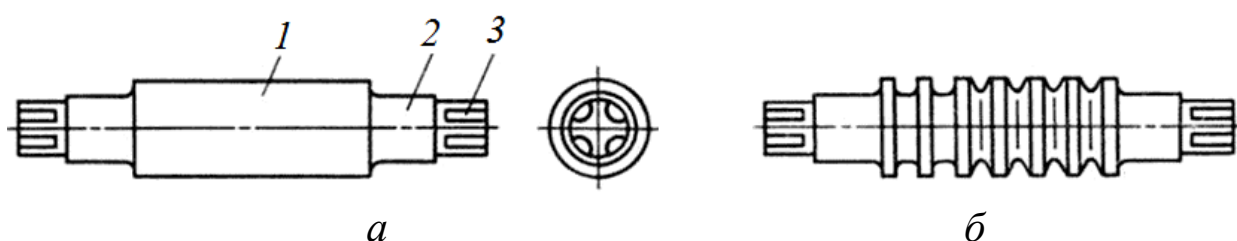


Рис. 33. Прокатные валки: а – гладкий; б – калиброванный

Ручей – профиль на боковой поверхности вала. Промежутки между ручьями называются *буртами*. Совокупность двух ручьев образует полость, называемую *калибром*, каждая пара валков образует несколько калибров. Система последовательно расположенных калибров, обеспечивающая получение требуемого профиля заданных размеров, называется *калибровкой*.

Валки состоят из рабочей части – бочки 1, шеек 2 и трефы 3. Шейки валков вращаются в подшипниках, которые, у одного из валков, могут перемещаться специальным нажимным механизмом для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного расположения осей. Трефа предназначена для соединения вала с муфтой или шпинделем.

3.5.2. Технологический процесс (ТП) прокатки

Исходным продуктом для прокатки служат квадратные, прямоугольные или многогранные слитки, прессованные плиты или кованные заготовки.

Процесс прокатки осуществляется как в холодном, так и горячем состоянии. Начинается в горячем состоянии и проводится до определенной толщины заготовки. Тонкостенные изделия в оконча-

тельной форме получают, как правило, в холодном виде (с уменьшением сечения увеличивается теплоотдача, поэтому горячая обработка затруднена). Основными технологическими операциями прокатного производства являются подготовка исходного металла, нагрев, прокатка и отделка проката.

Подготовка исходных металлов включает удаление различных поверхностных дефектов (трещин, царапин, закатов), что увеличивает выход готового проката.

Нагрев слитков и заготовок обеспечивает высокую пластичность, высокое качество готового проката и получение требуемой структуры. Необходимо строгое соблюдение режимов нагрева.

Основное требование при нагреве: равномерный прогрев слитка или заготовки по сечению и длине до соответствующей температуры за минимальное время с наименьшей потерей металла в окалину и экономным расходом топлива.

Температуры начала и конца горячей деформации определяются в зависимости от температур плавления и рекристаллизации. Прокатка большинства марок углеродистой стали начинается при температуре $1200 \div 1150$ °С, а заканчивается при температуре $950 \div 900$ °С.

Существенное значение имеет режим охлаждения. Быстрое и неравномерное охлаждение приводит к образованию трещин и короблению.

При *прокатке* контролируется температура начала и конца процесса, режим обжатия, настройка валков в результате наблюдения за размерами и формой проката. Для контроля состояния поверхности проката регулярно отбирают пробы.

Отделка проката включает резку на мерные длины, правку, удаление поверхностных дефектов и т.п. Готовый прокат подвергают конечному контролю.

Процесс прокатки осуществляют на специальных прокатных станах. *Прокатный стан* – комплекс машин для деформирования металла во вращающихся валках и выполнения вспомогательных операций (транспортирование, нагрев, термическая обработка, контроль и т.д.).

Оборудование для деформирования металла называется основным и располагается на *главной линии прокатного стана* (линии рабочих клеток). Главная линия прокатного стана (рис. 34) состоит из рабочей клетки и линии привода, включающей двигатель, редуктор, шестеренную клетку, муфты, шпиндели. Прокатные валки *1* установлены в рабочей клетке *5*, которая воспринимает давле-

ние прокатки. Определяющей характеристикой рабочей клетки являются размеры прокатных валков: диаметр (для сортового проката) или длина (для листового проката) бочки.

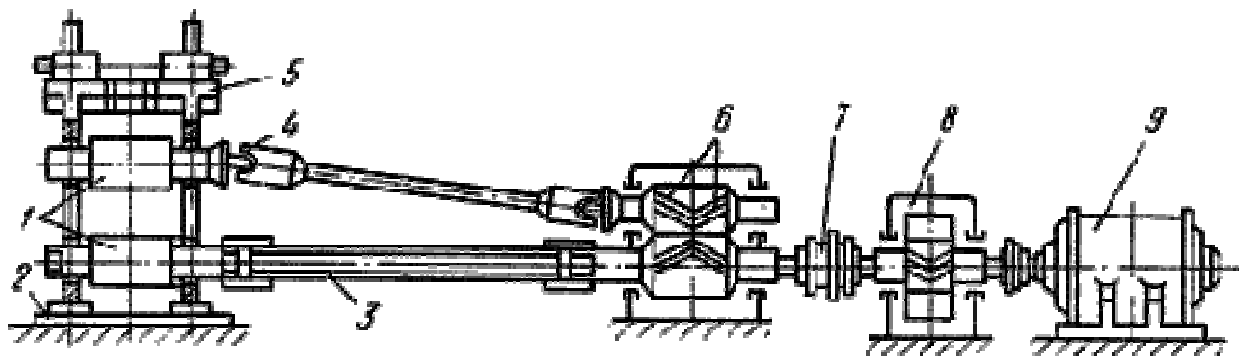


Рис. 34. Схема главной линии прокатного стана:

1 – прокатные валки; 2 – плита; 3 – трефовый шпиндель;
4 – универсальный шпиндель; 5 – рабочая клетка; 6 – шестеренная клетка; 7 – муфта; 8 – редуктор; 9 – двигатель

Шестеренная клетка 6 (см. рис. 34) предназначена для распределения крутящего момента двигателя между валками. Это одноступенчатый редуктор, передаточное отношение которого равно единице, а роль шестерен выполняют шестеренные валки.

Шпиндели предназначены для передачи крутящего момента от шестеренной клетки прокатным валкам (см. рис. 34) при отклонении от соосности до $10\div 12^\circ$. При незначительном перемещении в вертикальной плоскости применяют шпиндели трефового типа 3 в комплекте с трефовой муфтой. Внутренние очертания трефовых муфт отвечают форме сечения хвостовика валка или шпинделя. Муфтой предусмотрен зазор $5\div 8$ мм, что допускает возможность работы с перекосом $1\div 2^\circ$. При значительных перемещениях валков в вертикальной плоскости ось шпинделя может составлять значительный угол с горизонтальной плоскостью, в этом случае применяют шарнирные или универсальные шпиндели 4, которые могут передавать крутящий момент прокатным валкам при перекосе шпинделя до $10\div 12^\circ$.

В качестве двигателя прокатного стана 9 (см. рис. 34) применяют двигатели постоянного и переменного тока, тип и мощность зависят от производительности стана.

Редуктор 8 (см. рис. 34) используется для изменения чисел оборотов при передаче движения от двигателя к валкам. Зубчатые колеса – обычно шевронные с наклоном спирали 30° .

В зависимости от числа и расположения валков в рабочей клетке различают прокатные станы: двухвалковые (дуо-стан), трехвалковые (трио-стан), четырехвалковые (кварто-стан) и универсальные (рис. 35).

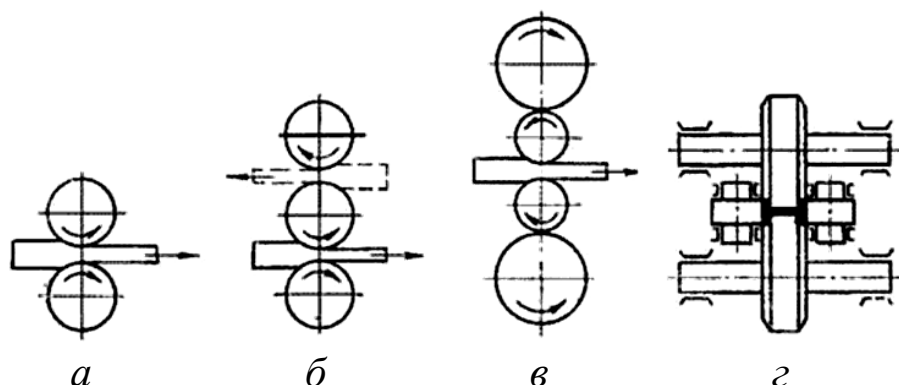


Рис. 35. Рабочие клетки прокатных станов

В двухвалковых клетях (рис. 35, а) осуществляется только по одному пропуску металла в одном направлении. Металл в трехвалковых клетях (рис. 35, б) движется в одну сторону между нижним и верхним, а в обратную – между средним и верхним валками.

В четырехвалковых клетях (рис. 35, в) устанавливаются опорные валки, которые позволяют применять рабочие валки малого диаметра, благодаря чему увеличивается вытяжка и снижаются деформирующие усилия.

Универсальные клетки (рис. 35, г) имеют неприводные вертикальные валки, которые находятся между опорами подшипников горизонтальных валков и в одной плоскости с ними.

По назначению прокатные станы подразделяют на станы для производства полупродукта и станы для выпуска готового проката.

Нагрев металла осуществляют в пламенных и электрических печах. По распределению температуры печи могут быть камерные и методические. В камерных печах периодического нагрева температура одинакова по всему рабочему пространству. В методических печах температура рабочего пространства постоянно повышается от места загрузки заготовок до места их выгрузки. Металл нагревается постепенно, методически. Печи характеризуются высокой производительностью. Применяются в прокатных и кузнечно-штамповочных цехах для нагрева слитков из цветных металлов. Крупные слитки перед прокаткой нагревают в нагревательных колодцах – разновидности камерных, пламенных печей.

В качестве *транспортных устройств* в прокатном производстве используют:

- слитковозы и различного вида тележки для подачи слитков и заготовок от нагревательных устройств к стану;

- рольганги – основное транспортное средство прокатных цехов (транспортеры с последовательно установленными вращающи-

мися роликами обеспечивают продольное перемещение металла; при косом расположении роликов возникает возможность поперечного движения полосы);

– манипуляторы, предназначенные для правильной задачи полосы в калибр;

– кантователи, предназначенные для поворота заготовки вокруг горизонтальной оси.

3.5.3. Правка проката

Изделия, полученные прокаткой, часто требуют правки. Ее выполняют в холодном состоянии для тонколистового материала и в горячем состоянии при производстве толстых листов. Последнее может вызвать дополнительное коробление изделия после охлаждения.

Процесс правки заключается в однократном или многократном пластическом изгибе искривленных участков полосы, каждый раз в обратном направлении. Правку можно выполнять и растяжением полосы, если напряжения растяжения будут превышать предел текучести материала.

Роликоправильные машины с параллельно расположенными роликами предназначены для правки листа и сортового проката (рис. 36). Процесс правки заключается в прохождении полосы между двумя рядами последовательно расположенных роликов, установленных в шахматном порядке таким образом, что при движении полосы ее искривление устраняется. Диаметр роликов – $25\div 370$ мм, шаг – $30\div 400$ мм, количество роликов: для тонких листов – $19\div 29$, для толстых – $7\div 9$.

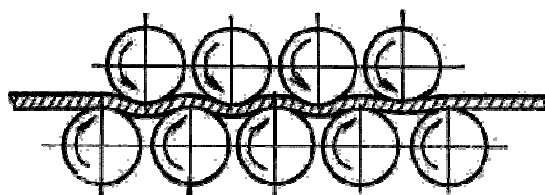


Рис. 36. Схема правки проката на роликоправильных машинах с параллельно расположенными роликами

Правильные машины с косорасположенными гиперболоидальными роликами предназначены для правки труб и круглых прутков (рис. 37). Ролики выполняют в виде однополостного гиперболоида и располагают под некоторым углом друг к другу. Выправляемый металл, кроме поступательного движения, совершает вращательное, что вызывает многократные перегибы полосы роликами и обеспечивает осесимметричную правку.

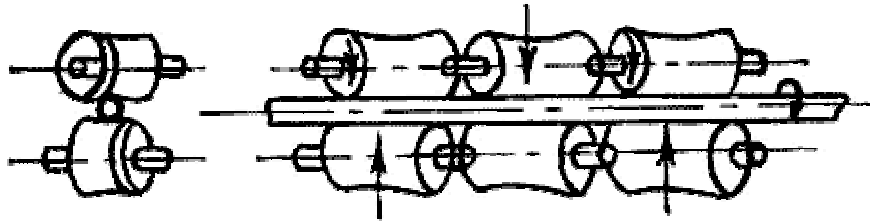


Рис. 37. Схема правки проката на машинах с косорасположенными гиперболическими роликами

Растяжные правильные машины используют для правки тонких листов (менее 0,3 мм), трудно поддающихся правке на роликотправильных машинах.

3.5.4. Разрезка и заготовительная обработка проката

Производится на заготовительных участках механических цехов различными способами, отличающимися производительностью, точностью заготовки, стойкостью инструмента и др.

Разрезка пилами применяется для относительно крупных заготовок, в основном из цветных металлов. Заготовка характеризуется высокой точностью по длине, хорошим качеством среза, перпендикулярностью торца к оси. Основными недостатками являются низкая производительность и значительные потери металла на рез. Применяются пилы зубчатые и гладкие (трения).

Разрезка на эксцентриковых пресс-ножницах применяется для стального проката круглого или квадратного сечения до 300 мм. Является наиболее производительным и дешевым процессом разделки проката на заготовки. Основными недостатками являются косой рез и смятие концов заготовки. Заготовки из высокоуглеродистых и легированных сталей целесообразно подогреть до 450÷650 °С. Применяют ножи с плоской режущей кромкой и с ручьями.

Разрезка на токарных полуавтоматах отрезными резцами.

Электроискровая и анодно-механическая резка обеспечивает максимальную точность размеров. Применяется для особо прочных металлов.

Разрезка на прессах-хладоломах применяется для заготовок крупного сечения. На заготовке предварительно делается надрез пилой или газовым резаком.

Газопламенная резка смесью ацетилена и кислорода.

Плазменно-дуговая резка применяется для высоколегированных тугоплавких сталей и сплавов. Вдоль электрической дуги по

каналу плазмотрона пропускается газ (аргон), который сжимает дугу и выходит из сопла в виде плазмы с температурой 1000÷3000 °С.

3.5.5. Продукция прокатного производства

Форма поперечного сечения называется профилем проката. Совокупность профилей различной формы и размеров – сортамент.

В зависимости от профиля прокат делится на четыре основные группы: листовой, сортовой, трубный и специальный. В свою очередь, группы делятся на горячий и холодный прокат, в зависимости от состояния исходной заготовки (нагретая или холодная) при производстве проката.

Листовой прокат из стали и цветных металлов подразделяется на толстолистовой (4÷60 мм), тонколистовой (0,2÷4 мм) и жесть (менее 0,2 мм). Толстолистовой прокат получают в горячем состоянии, другие виды листового проката – в холодном состоянии. Прокатку листов и полос проводят в гладких валках.

Среди сортового проката различают:

- заготовки круглого, квадратного и прямоугольного сечения дляковки и прокатки;
- простые сортовые профили (круг, квадрат, шестигранник, полоса, лента);
- фасонные сортовые профили;
- профили общего назначения (уголок, швеллер, тавр, двутавр);
- профили отраслевого назначения (железнодорожные рельсы, автомобильный обод);
- профили специального назначения (профиль для рессор, напильников).

Трубный прокат получают на специальных трубопрокатных станах. Различают бесшовные горячекатаные трубы диаметром 25÷550 мм и сварные диаметром 5÷2500 мм. Трубы являются продуктом вторичного передела круглой и плоской заготовки.

Общая схема процесса производства бесшовных труб предусматривает следующие операции: получение толстостенной гильзы (прошивка) и получение из гильзы готовой трубы (раскатка).

Первая операция выполняется на специальных прошивочных станах в результате поперечно-винтовой прокатки. Вторую операцию выполняют на трубопрокатных раскатных станах различных конструкций: пилигримовых, автоматических и др.

Периодический профиль – профиль, изменяющийся по определенному закону, повторяющемуся по длине. Периодические профили получают продольной, поперечной и винтовой прокаткой.

При *продольной* периодической прокатке получают профили с односторонним периодом, с двухсторонним совпадающим периодом, с несовпадающим верхним и нижним периодом. Окончательную форму изделию придают за один проход. Длина периода профиля определяется длиной окружности валка. При каждом обороте валков из них должен выходить отрезок полосы с целым числом периодов, поэтому наибольшая длина периода не может быть больше длины окружности валков.

Поперечная прокатка периодических профилей характеризуется тем, что заготовка и готовый профиль представляют собой тела вращения. Схема прокатки на трехвалковом стане представлена на рис. 38.

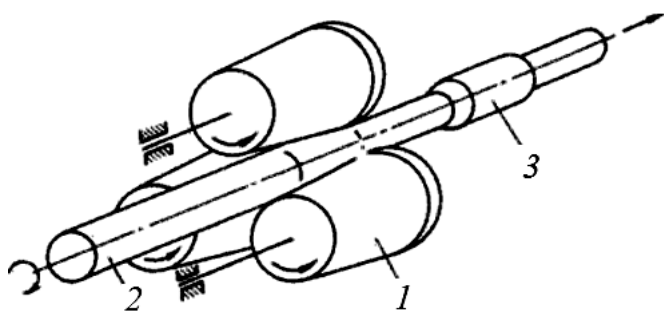


Рис. 38. Схема прокатки на трехвалковом стане

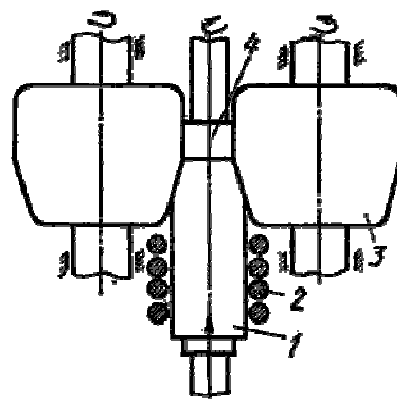


Рис. 39. Схема прокатки шестерни с осевой подачей заготовки

Прокатка осуществляется дисковыми или коническими валками (см. рис. 38), расположенными под углом 120° друг к другу. Валки могут быть установлены с некоторым перекосом. Способ заключается в том, что три приводных валка 1 вращают заготовку 2, которая принудительно перемещается в осевом направлении со значительным натяжением. Гидравлическое устройство перемещает зажимной патрон 3 вместе с металлом в направлении рабочего хода. Во время прокатки валки сближаются и разводятся на требуемый размер гидравлической следящей системой в соответствии с заданным профилем копирующей линейки или системой ЧПУ по заранее заданной программе. Переход от одного профиля к другому осуществляется без замены валков, только за счет смены копира или программы.

Поперечной прокаткой накатывают зубья шестерен между двумя вращающимися валками. Возможны два способа обработки

зубьев: с осевой подачей обрабатываемой заготовки (прутковая прокатка) и прокатка с радиальной подачей валков (штучная прокатка). Прутковая прокатка шестерен (см. рис. 39) применяется для обработки прямозубых и косозубых шестерен с небольшими модулями (до 6 мм) и диаметром до 200 мм. Образование зубьев при прокатке осуществляется перемещением нагретой в кольцевом индукторе 2 заготовки 1 между двумя вращающимися зубчатыми валками 3, модуль которых равен модулю прокатываемой шестерни 4. В начале прокатки заготовка приводится во вращение дополнительным зубчатым колесом, находящимся в зацеплении с валками. После выхода из зацепления шестерня вращается валками.

Станы *винтовой* прокатки широко применяют для прокатки стальных шаров диаметром 25÷125 мм. Схема прокатки представлена на рис. 40.

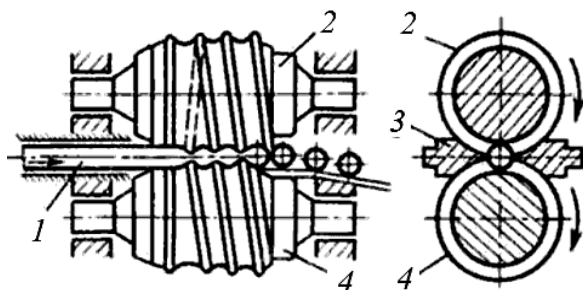


Рис. 40. Схема прокатки шаров

Валки 2 и 4 (см. рис. 40) вращаются в одном направлении, в результате заготовка 1 получает вращательное движение. Для осевого перемещения оси валков располагают под углом к оси вращения. От вылета из валков заготовка предохраняется центрирующими упорами 3. В валках нарезают винтовые калибры. По характеру деформации калибр разделяется на формующий участок, где осуществляется захват заготовки и ее постепенное обжатие в шар, и отделочный участок, где придаются точные размеры шару и происходит его отделение от заготовки. Диаметр валков в 5÷6 раз превышает диаметр прокатываемых шаров и составляет 190÷700 мм. Производительность стана определяется числом оборотов валков. Существуют станы для прокатки ребристых труб, для накатки резьбы и т.д.

3.6. Прессование

Прессование – вид обработки давлением, при котором металл выдавливается из замкнутой полости через отверстие в матрице, соответствующее сечению прессуемого профиля.

Это современный способ получения различных профильных заготовок: прутков диаметром $3\div 250$ мм, труб диаметром $20\div 400$ мм с толщиной стенки $1,5\div 15,0$ мм, профилей сложного сечения сплошных и полых с площадью поперечного сечения до 500 см².

Впервые метод был научно обоснован академиком Н. С. Курнаковым в 1813 г. и применялся для получения прутков и труб из оловянисто-свинцовых сплавов. В настоящее время в качестве исходной заготовки используют слитки или прокат из углеродистых и легированных сталей, а также из цветных металлов и сплавов на их основе (медь, алюминий, магний, титан, цинк, никель, цирконий, уран, торий).

ТП прессования включает операции:

- подготовка заготовки к прессованию (разрезка, предварительное обтачивание на станке, так как качество поверхности заготовки оказывает влияние на качество и точность профиля);
- нагрев заготовки с последующей очисткой от окалины;
- укладка заготовки в контейнер;
- процесс прессования;
- отделка изделия (отделение пресс-остатка, разрезка).

Прессование производится на гидравлических прессах с вертикальным или горизонтальным расположением плунжера, мощностью до 10 000 т. Применяются два метода прессования: *прямой* и *обратный* (рис. 41).

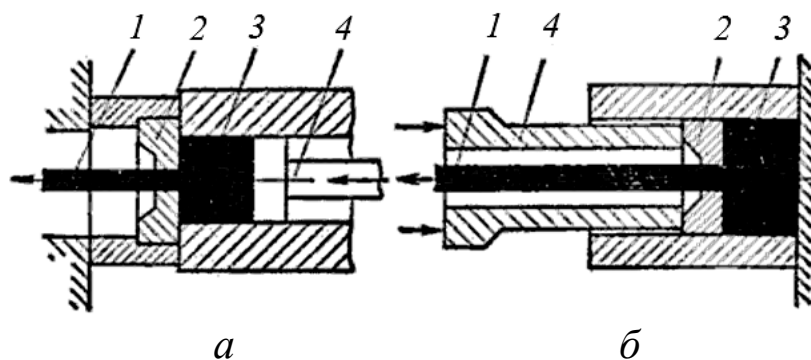


Рис. 41. Схема прессования прутка прямым (а) и обратным (б) методом:
1 – готовый пруток; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – пуансон

При *прямом* прессовании (рис. 41, а) движение пуансона пресса и истечение металла через отверстие матрицы происходят в одном направлении. При прямом прессовании требуется прикладывать значительно большее усилие, так как часть его затрачивается на преодоление трения при перемещении металла заготовки внутри контейнера. Пресс-остаток составляет $18\div 20$ % от массы заготовки (в некото-

рых случаях – 30÷40 %). Но процесс характеризуется более высоким качеством поверхности, схема прессования более простая.

При *обратном* прессовании (рис. 41, б) заготовку закладывают в глухой контейнер, и она при прессовании остается неподвижной, а истечение металла из отверстия матрицы, которая крепится на конце полого пуансона, происходит в направлении, обратном движению пуансона с матрицей. Обратное прессование требует меньших усилий, пресс-остаток составляет 5÷6 %. Однако меньшая деформация приводит к тому, что прессованный пруток сохраняет следы структуры литого металла. Конструктивная схема прессования более сложная.

Процесс прессования характеризуется следующими основными параметрами: коэффициентом вытяжки, степенью деформации и скоростью истечения металла из очага матрицы. При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и имеет очень высокую пластичность.

К основным преимуществам процесса относятся: возможность обработки металлов, которые из-за низкой пластичности другими методами обработать невозможно; возможность получения практически любого профиля поперечного сечения; получение широкого сортамента изделий на одном и том же прессовом оборудовании с заменой только матрицы; высокая производительность, до 2÷3 м/мин.

Недостатки процесса: повышенный расход металла на единицу изделия из-за потерь в виде пресс-остатка; появление в некоторых случаях заметной неравномерности механических свойств по длине и поперечному сечению изделия; высокая стоимость и низкая стойкость прессового инструмента; высокая энергоемкость.

3.7. Волочение

Сущность процесса волочения заключается в протягивании заготовок через сужающееся отверстие (фильеру) в инструменте, называемом волокой. Конфигурация отверстия определяет форму получаемого профиля. Схема волочения представлена на рис. 42.

Основной инструмент при волочении – волоки различной конструкции. Волока работает в сложных условиях: большое напряжение сочетается с износом при протягивании, поэтому их изготавливают из твердых сплавов. Для получения особо точных профилей волоки изготавливают из алмаза.

Волока 1 (рис. 43) закрепляется в обойме 2. Волоки имеют

сложную конфигурацию, ее составными частями являются: заборная часть *I*, включающая входной конус и смазочную часть; деформирующая часть *II* с углом в вершине α ($6\div 18^\circ$ – для прутков, $10\div 24^\circ$ – для труб); цилиндрический калибрующий поясок *III* длиной $0,4\div 1$ мм; выходной конус *IV*.

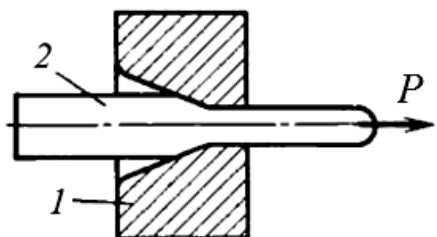


Рис. 42. Схема волочения

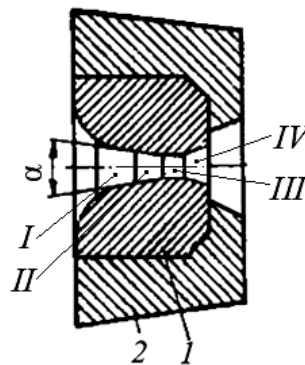


Рис. 43. Общий вид волокни

Волочением получают проволоку диаметром $0,002\div 4$ мм, прутки и профили фасонного сечения, тонкостенные трубы, в том числе и капиллярные. Волочение применяют также для калибровки сечения и повышения качества поверхности обрабатываемых изделий. Волочение чаще выполняют при комнатной температуре, когда пластическую деформацию сопровождает наклеп, это используют для повышения механических характеристик металла, например, предел прочности возрастает в $1,5\div 2$ раза.

Исходным материалом может быть горячекатаный пруток, сортовой прокат, проволока, трубы. Волочением обрабатывают стали различного химического состава, цветные металлы и сплавы, в том числе и драгоценные.

ТП волочения включает операции:

- предварительный отжиг заготовок для получения мелкозернистой структуры металла и повышения его пластичности;
- травление заготовок в подогретом растворе серной кислоты для удаления окалины с последующей промывкой, после удаления окалины на поверхность наносят подсмазочный слой путем омеднения, фосфотирования, известкования, к слою хорошо прилипает смазка и коэффициент трения значительно снижается;
- волочение, заготовку последовательно протягивают через ряд постепенно уменьшающихся отверстий;
- отжиг для устранения наклепа: после $70\div 85$ % обжатия для стали и 99 % обжатия для цветных металлов;
- отделка готовой продукции (обрезка концов, правка, резка на мерные длины и др.).

ТП волочения осуществляется на специальных волочильных станах. В зависимости от типа тянущего устройства различают станы: с прямолинейным движением протягиваемого металла (цепной, реечный); с наматыванием обрабатываемого металла на барабан (барабанный). Станы барабанного типа обычно применяются для получения проволоки. Число барабанов может достигать до двадцати. Скорость волочения достигает 50 м/с.

Процесс волочения характеризуется параметрами: коэффициентом вытяжки и степенью деформации. Коэффициент вытяжки определяется отношением конечной и начальной длины или начальной и конечной площади поперечного сечения. При необходимости получить большую величину деформации производят многократное волочение.

3.8. Ковка

Ковка – способ обработки давлением, при котором деформирование нагретого (реже холодного) металла осуществляется или многократными ударами молота, или однократным давлением прессы. Ковкой получают разнообразные поковки массой до 300 т.

Формообразование при ковке происходит за счет пластического течения металла в направлениях, перпендикулярных к движению деформирующего инструмента. При ковке течение металла ограничено трением на контактной поверхности деформируемого металла и поверхностью инструмента: бойков плоских или фигурных, подкладных штампов.

Первичной заготовкой для поковок являются: слитки, для изготовления массивных крупногабаритных поковок; прокат сортовой горячекатаный простого профиля (круг, квадрат). Ковка может производиться в горячем и холодном состоянии.

Холодной ковке поддаются драгоценные металлы – золото, серебро, а также медь. ТП холоднойковки состоит из двух чередующихся операций: деформации металла и рекристаллизационного отжига. В современных условиях холодная ковка встречается редко, в основном в ювелирном производстве.

Горячая ковка применяется для изготовления различных изделий, а также инструментов: чеканов, зубил, молотков и т.п.

Материалом для горячейковки являются малоуглеродистые стали, углеродистые инструментальные и некоторые легированные стали. Каждая марка стали имеет определенный интервал температур

начала и конца ковки, зависящий от состава и структуры обрабатываемого металла.

3.8.1. Операции ковки

Различают ковку предварительную и окончательную. Предварительная (или черновая) ковка представляет собой кузнечную операцию обработки слитка для подготовки его к дальнейшей деформации прокаткой, прессованием и т.п. Окончательная (чистовая ковка) охватывает все методы кузнечной обработки, с помощью которых изделия придают окончательную форму.

Предварительные операции.

Биллетирование – превращение слитка в болванку или заготовку, включает сбивку ребер и устранение конусности.

Обжатие при билетировании составляет $5\div 20\%$. Проковка слитка предназначена для обжатия металла в углах слитка с целью предварительного деформирования литой структуры – дендритов, которые имеют стыки в этих углах. Биллетирование способствует заварке воздушных пузырей и других подкорковых дефектов литой структуры, созданию пластичного поверхностного слоя металла, благоприятно влияющего на дальнейшую деформацию. После билетирования производят обрубку донной части слитка.

Рубка – применяется для отделения от основной заготовки негодных частей или для разделения заготовки на части.

Рубка производится в холодном и горячем состоянии. В холодном состоянии рубят тонкие и узкие полосы и прутки сечением $15\div 20$ мм. Более толстые заготовки нагревают.

Схема рубки (рис. 44) основана на действии деформирующей силы на малую площадь соприкосновения инструмента с заготовкой, а реакция этой силы со стороны нижней части распределена по большой поверхности заготовки, и пластической деформации здесь не возникает.

В зависимости от габаритов и формы заготовок используют способы рубки:

- с одной стороны – для тонких заготовок;
- с двух сторон – сначала осуществляется предварительная надрубка заготовки на $0,5\div 0,75$ высоты, после кантовки на 180° проводится окончательная рубка;
- с трех сторон – для круглых и крупных заготовок, осуществля-

ются две надрубки на глубину 0,4 диаметра заготовки с кантовкой на 120° , после второй кантовки на 120° проводят окончательную рубку;

– с четырех сторон – для крупных заготовок, после надрубки с четырех сторон в центре остается перемычка прямоугольного сечения, по месту которой производят разделение заготовки на части.

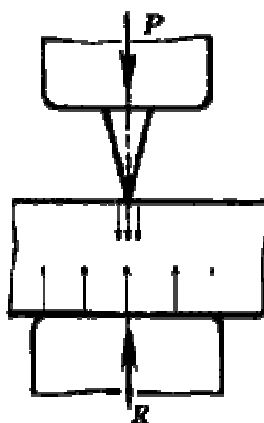


Рис. 44. Схема рубки

Основные операции.

Осадка – операция обработки давлением, в результате которой уменьшается высота и одновременно увеличиваются поперечные размеры заготовок (рис. 45, а).

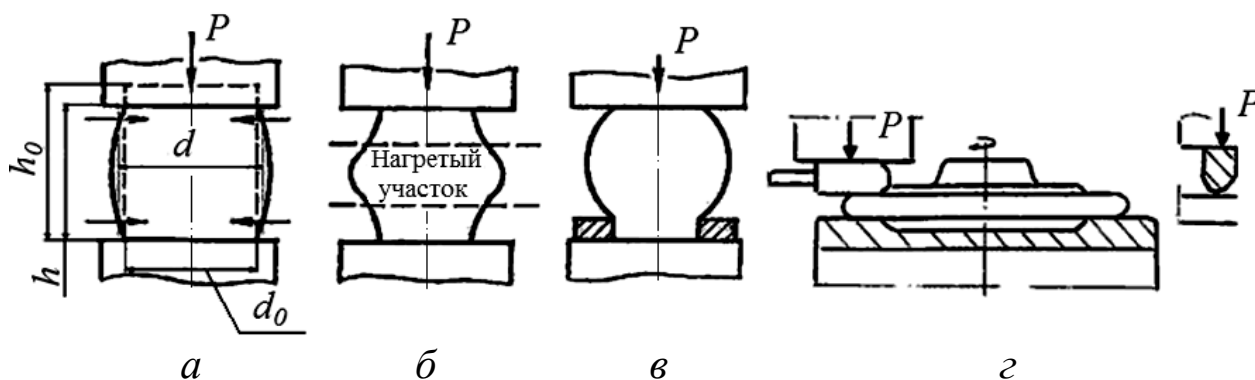


Рис. 45. Схемы осадки и ее разновидностей

Осадку применяют: для получения формы поковки, с целью уменьшения глубины прошивки; для обеспечения соответствующего расположения волокон в будущей детали (при изготовлении шестерней обеспечивается повышенная прочность зубьев в результате радиального расположения волокон); как контрольную операцию (из-за значительной деформации по периметру на боковой поверхности вскрываются дефекты).

При выполнении осадки требуется, чтобы инструмент перекрывал заготовку. Вследствие трения боковая поверхность осаживаемой заготовки приобретает бочкообразную форму, это характерно

ризует неравномерность деформации. Повторяя осадку несколько раз с разных сторон, можно привести заготовку к первоначальной форме или близкой к ней, получив при этом более высокое качество металла и одинаковые его свойства по всем направлениям.

Осадке подвергают заготовки, для которых высота не превышает $2,5 \div 3,0$ диаметра. В противном случае возможен или продольный изгиб заготовки, или образование седлообразности. Разновидностями осадки являются высадка и осадка разгонкой торца.

Высадка – кузнечная операция, заключающаяся в деформировании части заготовки, концевой части или середины.

Для проведения операции используют местный нагрев, например, в середине заготовки (рис. 45, б), или ограничивают деформацию на части заготовки кольцевым инструментом (рис. 45, в).

Осадка разгонкой торца позволяет уменьшить высоту и увеличить площадь ранее осаженной заготовки (рис. 45, г). Локализация деформации позволяет уменьшить усилие осадки.

Протяжка (вытяжка) – кузнечная операция, в результате которой происходит увеличение длины заготовки за счет уменьшения площади ее поперечного сечения.

Протяжка не только изменяет форму заготовок, но и улучшает качество металла. Операция заключается в нанесении последовательных ударов и перемещении заготовки, при этом между бойками во время удара находится только часть заготовки. После каждого обжатия заготовка продвигается на величину, меньшую, чем длина бойка. Протягивают плоскими (рис. 46, а) и фигурными (рис. 46, б) бойками. Протяжка на плоских бойках может выполняться двумя способами.

Первый способ. Протяжка выполняется по всей длине слитка или заготовки вначале с одной стороны, а после кантовки на 90° – с другой стороны и т.д. Большие по длине поковки могут изгибаться в бойках концами вниз. Чтобы исправить изгиб, поковки кантуют сначала на 180° , а потом на 90° .

Второй способ. Поочередная протяжка на плоских бойках (по винтовой линии) – после каждого обжатия следует кантовка на 90° в одну и ту же сторону, после каждых четырех обжатий следует подача. Способ более трудоемкий, применяется при ковке твердых инструментальных сталей.

При протяжке на плоских бойках в центре изделия могут возникнуть (особенно при проковке круглого сечения) значительные растягивающие напряжения, которые приводят к образованию осевых трещин.

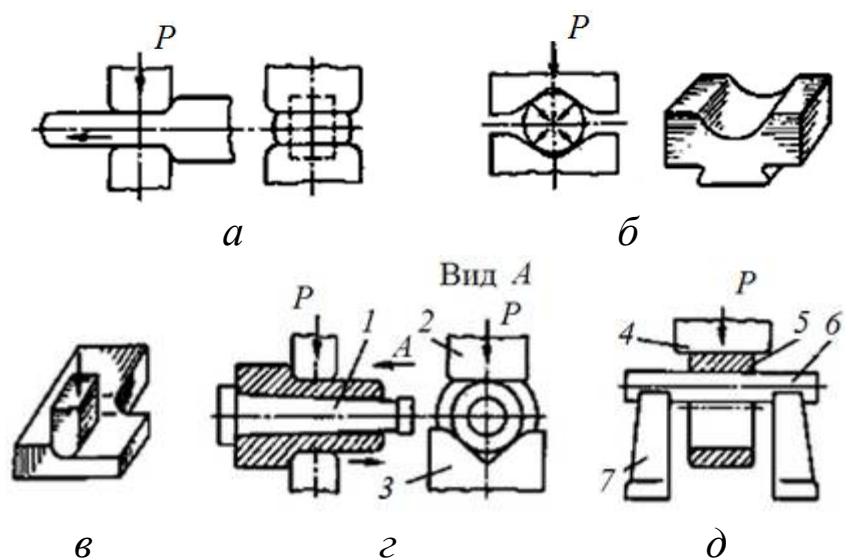


Рис. 46. Схемы протяжки и ее разновидностей

Протяжка в фигурных бойках или в комбинации плоских бойков с фигурными используется при ковке легированных сталей с пониженной пластичностью. Благодаря боковому давлению, создаваемому жесткими стенками инструмента, повышаются сжимающие напряжения, увеличивается пластичность металла. Получают поковки более точные по форме и размерам. Возрастает скорость протяжки.

При протяжке с круга на круг в вырезных бойках, силы, направленные с четырех сторон к осевой линии заготовки, способствуют более равномерному течению металла и устранению возможности возникновения осевых трещин. Разновидностями протяжки являются разгонка, протяжка с оправкой, раскатка на оправке.

Разгонка (расплющивание) – операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины (рис. 46, в). Операция выполняется за счет перемещения инструмента в направлении, перпендикулярном оси заготовки.

Протяжка на оправке – операция увеличения длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенки и уменьшения наружного диаметра (рис. 46, з). Протяжку выполняют в вырезных бойках или нижнем вырезном 3 и верхнем плоском 2, на конической оправке 1. Протягивают в одном направлении – к расширяющемуся концу оправки, что облегчает ее удаление из поковки. Оправку предварительно нагревают до температуры $160 \div 200$ °С.

Раскатка на оправке – операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис. 46, д). Заготовка 5 опирается внутренней поверхностью на цилиндрическую оправку 6, устанавли-

ливаемую концами на подставках 7, и деформируется между оправкой и узким длинным бойком 4. После каждого обжатия заготовку поворачивают относительно оправки.

Протяжку с оправкой и раскаткой на оправке применяют совместно. Вначале раскаткой убирают бочкообразность предварительно осаженной и прошитой заготовки и доводят ее внутренний диаметр до требуемых размеров. Затем протяжкой с оправкой уменьшают толщину стенок и увеличивают до заданных размеров длину заготовки.

Прошивка – операция получения в заготовке сквозных или глухих отверстий за счет вытеснения металла (рис. 47, а).

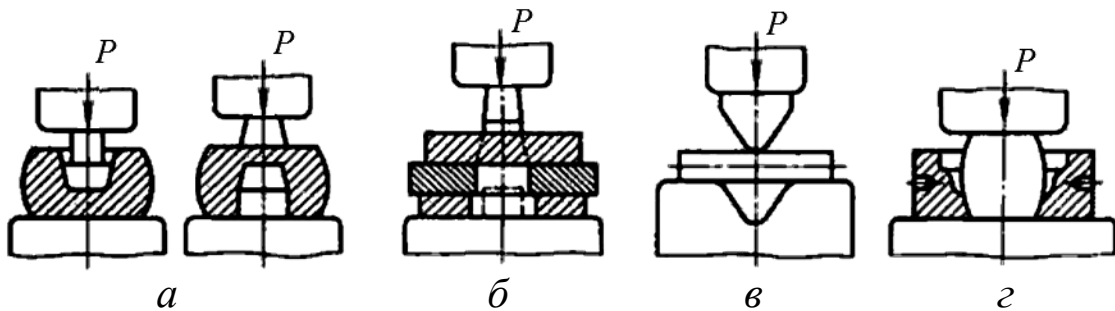


Рис. 47. Схемы прошивки (а, б), гибки (в), штамповки в подкладных штампах (г)

Инструментом для прошивки служат прошивни сплошные и пустотелые. Пустотелые прошивают отверстия большого диаметра (400÷900 мм). При сквозной прошивке сравнительно тонких поковок применяют подкладные кольца (рис. 47, б). Более толстые поковки прошивают с двух сторон без подкладного кольца (рис. 47, а). Диаметр прошивня выбирают не более половины наружного диаметра заготовки, при большем диаметре прошивня заготовка значительно искажается. Прошивка сопровождается отходом (выдрой).

Гибка – операция придания заготовке или ее части изогнутой формы по заданному контуру (рис. 47, в). Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади в месте изгиба (утяжка). Для компенсации утяжки в зоне изгиба заготовке придают увеличенные поперечные размеры. При гибке возможно образование складок по внутреннему контуру и трещин по наружному. Для избежания этого явления по заданному углу изгиба подбирают соответствующий радиус скругления. Радиус в месте изгиба не должен быть меньше полутора толщин заготовки. Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны.

Скручивание – операция, заключающаяся в повороте одной части поковки вокруг общей оси по отношению к другой ее части под определенным углом. Различают два случая:

- поворот на угол до 180° – для пространственной ориентации отдельных частей;

- многократное скручивание на 360° – для придания витого характера (используется как элемент украшения композиций решеток, перил, лестниц и т.д.).

К скручиванию относится и свивание нескольких тонких прутков (проволок) в шнуры.

При изготовлении небольшой партии поковок с относительно сложной конфигурацией применяют штамповку в подкладных штампах (рис. 47, з). Подкладной штамп может состоять из одной или двух частей, в которых имеется полость с конфигурацией поковки или ее отдельных участков.

ТПковки включает операции: резку исходной заготовки в требуемый размер, нагрев материала до требуемой температуры, формообразующую операцию, очистку заготовок от окалины, контроль поковки.

Точность и производительность резки определяются способом резки. На практике обычно применяют нагрев в пламенной печи, как способ, не требующий дополнительных затрат.

Основная операция включает переходы: установку – снятие заготовки, формоизменяющую операцию (осадку, вытяжку, прошивку и т.д.).

Очистку поковок от окалины осуществляют в галтовочных барабанах, обдувкой стальной дробью, травлением в водных растворах серной или соляной кислоты.

При контроле поковок выявляют внешние и внутренние дефекты, проверяют соответствие геометрическим и функциональным техническим условиям.

3.8.2. Оборудование дляковки

В качестве оборудования применяются ковочные молоты и ковочные прессы. Оборудование выбирают в зависимости от режимаковки данного металла или сплава, массы поковки и ее конфигурации. Необходимую мощность оборудования определяют по приближенным формулам или справочным таблицам.

Молоты – машины динамического ударного действия. Продолжительность деформации на них составляет тысячные доли секунды. Металл деформируется за счет энергии, накопленной падающими частями молота к моменту их соударения с заготовкой. Часть энергии те-

ряется на упругие деформации инструмента и колебания шабота – детали, на которую устанавливают нижний боек. Чем больше масса шабота, тем выше КПД. Обычно масса шабота в 15 раз превышает массу падающих частей, что обеспечивает КПД на уровне $0,8 \div 0,9$.

Для получения поковок массой до 20 кг применяют ковочные пневматические молоты, работающие на сжатом воздухе. Сила удара определяется силой давления сжатого воздуха и может регулироваться в широких пределах. Масса падающих частей составляет $50 \div 1000$ кг.

Для получения поковок массой до 350 кг применяют ковочные паровоздушные молоты. Они приводятся в действие паром или сжатым воздухом давлением $0,7 \div 0,9$ МПа. Масса падающих частей составляет $1000 \div 8000$ кг.

Различают молоты простого действия, когда пар или воздух только поднимают поршень, и двойного действия, когда энергоноситель создает дополнительное деформирующее усилие. Основные параметры молотов регламентируются ГОСТами.

Прессы ковочные гидравлические – машины статического действия. Продолжительность деформации составляет до десятков секунд. Металл деформируется приложением силы, создаваемой с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального масла), подаваемой в рабочий цилиндр прессы. Они выбираются по номинальному усилию, которое составляет $5 \div 100$ МН. Применяют в основном для получения крупных заготовок из слитков.

3.9. Горячая объемная штамповка (ГОШ)

Объемной штамповкой называют процесс получения поковок, при котором формообразующую полость штампа, называемую ручьем, принудительно заполняют металлом исходной заготовки и перераспределяют его в соответствии с заданной чертежом конфигурацией.

Применение объемной штамповки оправдано при серийном и массовом производстве. При использовании этого способа повышается производительность труда, снижаются отходы металла, обеспечиваются высокие точность формы изделия и качество поверхности. Штамповкой можно получать очень сложные по форме изделия, которые невозможно получить приемами свободнойковки.

Объемную штамповку осуществляют при разных температурах исходной заготовки и, в соответствии с температурой, делят на холодную и горячую. Наиболее широкое распространение получила

ГОШ, которую ведут в интервале температур, обеспечивающих снятие упрочнения.

Исходным материалом для ГОШ являются сортовой прокат, пресованные прутки, литая заготовка, в крупносерийном производстве – периодический прокат, что обеспечивает сокращение подготовительных операций.

3.9.1. Формообразование при ГОШ

Основная операция ГОШ может быть выполнена за один или несколько переходов. При каждом переходе формообразование осуществляется специальной рабочей полостью штампа – *ручьем* (*гравюрой*). Переходы и ручки делятся на две группы: заготовительные и штамповочные. Схема ТП получения заготовки в нескольких ручьях представлена на рис. 48.

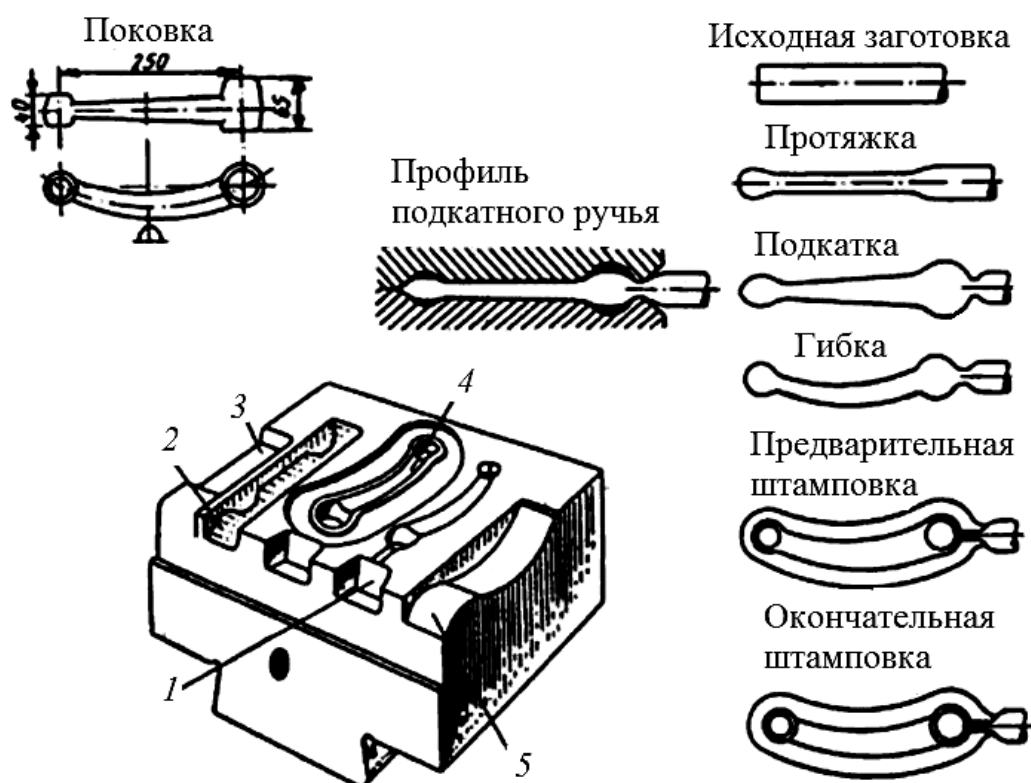


Рис. 48. ТП получения поковки в нескольких ручьях:
 1 – черновой ручей; 2 – подкатной ручей; 3 – протяжной ручей;
 4 – чистовой ручей; 5 – гибочный ручей

Заготовительные ручки предназначены для фасонирования в штампах. *Фасонирование* – перераспределение металла заготовки с целью придания ей формы, обеспечивающей последующую штамповку с малым отходом металла.

К заготовительным ручьям относятся протяжной, подкатной, гибочный и пережимной, а также площадка для осадки.

Протяжной ручей предназначен для увеличения длины отдельных участков заготовки за счет уменьшения площади их поперечного сечения, выполняемого воздействием частых слабых ударов с кантованием заготовки.

Подкатной ручей служит для местного увеличения сечения заготовки (набора металла) за счет уменьшения сечения рядом лежащих участков, т.е. для распределения объема металла вдоль оси заготовки в соответствии с распределением его в поковке. Переход осуществляется за несколько ударов с кантованием.

Пережимной ручей предназначен для уменьшения вертикального размера заготовки в местах, требующих уширения. Выполняется за 1÷3 удара.

Гибочный ручей применяют только при штамповке поковок, имеющих изогнутую ось. Служит для придания заготовке формы поковки в плоскости разъема. Заготовку, из гибочного ручья в следующий ручей, передают с поворотом на 90°.

При штамповке поковок, имеющих в плане форму окружности или близкую к ней, часто применяют осадку исходной заготовки до требуемых размеров по высоте и диаметру. Для этого на плоскости штампа предусматривают *площадку для осадки*.

Штамповочные ручьи предназначены для получения готовой поковки. К штамповочным ручьям относятся черновой (предварительный) и чистовой (окончательный).

Черновой ручей предназначен для максимального приближения формы заготовки к форме поковки сложной конфигурации. Глубина ручья несколько больше, а поперечные размеры меньше, чем у чистового ручья (чтобы заготовка свободно укладывалась в чистовой ручей). Радиусы скругления и уклоны увеличиваются. В открытых штампах черновой ручей не имеет облойной канавки. Применяется для снижения износа чистового ручья, но может отсутствовать.

Чистовой ручей служит для получения готовой поковки, имеет размеры «горячей поковки», т.е. больше, чем у холодной поковки, на величину усадки. В открытых штампах по периметру ручья предусмотрена облойная канавка, для приема избыточного металла. Чистовой ручей расположен в центре штампа, так как в нем возникают наибольшие усилия при штамповке.

3.9.2. Технологический процесс (ТП) ГОШ

ТП изготовления поковки включает следующие операции: отрезка проката на мерные заготовки, нагрев, штамповка, обрезка облоя и пробивка перемычек, правка, термическая обработка, очистка поковок от окалины, калибровка, контроль готовых поковок.

Перед штамповкой заготовки должны быть нагреты равномерно по всему объему до заданной температуры. При нагреве должны быть минимальными окалинообразование (окисление) и обезуглероживание поверхности заготовки. Используются электроконтактные установки, в которых заготовка, зажата медными контактами, нагревается при пропускании по ней тока; индукционные установки, в которых заготовка нагревается вихревыми токами; газовые печи, с безокислительным нагревом заготовок в защитной атмосфере.

ТП ГОШ зависит от формы поковки. По форме в плане поковки делятся на две группы: диски и поковки удлиненной формы. К первой группе относятся круглые или квадратные поковки, имеющие сравнительно небольшую длину: шестерни, диски, фланцы, ступицы, крышки и др. Штамповка таких поковок производится осадкой в торец исходной заготовки с применением только штамповочных переходов.

Ко второй группе относятся поковки удлиненной формы: валы, рычаги, шатуны и др. Штамповка таких поковок производится протяжкой исходной заготовки (плашмя). Перед окончательной штамповкой таких поковок в штамповочных ручьях требуется фасонирование исходной заготовки в заготовительных ручьях штампа, свободной ковкой или на ковочных вальцах.

Характер течения металла в процессе штамповки определяется типом штампа, поэтому этот признак считается основным для классификации способов штамповки. В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах (рис. 49).

Штамповка в открытых штампах (рис. 49, а) характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает часть металла – облой, который закрывает выход из полости штампа и заставляет остальной металл заполнить всю полость. В конечный момент деформирования в облой выжимаются излишки металла, находящиеся в полости, что позволяет не предъявлять высокие требования к точности заготовок по массе. Штамповкой в открытых штампах можно получить поковки всех типов.

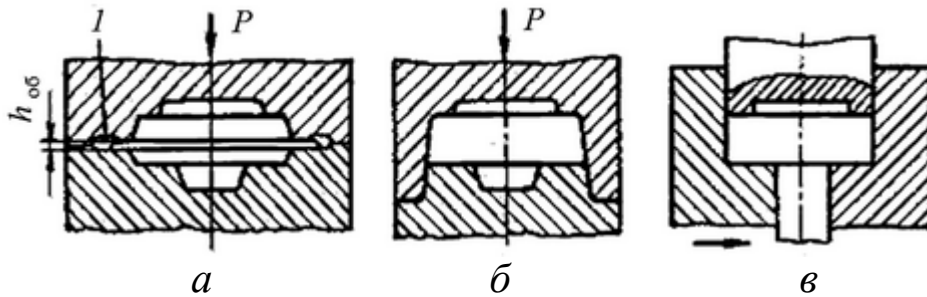


Рис. 49. Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах:
I – облойная канавка

Штамповка в закрытых штампах (рис. 49, б) характеризуется тем, что полость штампа в процесс деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа постоянный и небольшой, образование в нем облоя не предусмотрено. Устройство таких штампов зависит от типа машины, на которой штампуют. Например, нижняя половина штампа может иметь полость, а верхняя – выступ (на прессах), или верхняя – полость, а нижняя – выступ (на молотах). Закрытый штамп может иметь две взаимно перпендикулярные плоскости разреза (рис. 49, в).

При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, иначе при недостатке металла не заполняются углы полости штампа, а при избытке размер поковки по высоте будет больше требуемого. Отрезка заготовок должна обеспечивать высокую точность.

Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах – уменьшение расхода металла из-за отсутствия облоя. Поковки имеют более благоприятную структуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в облой. Металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.

Поковки простой формы штампуют в штампах с одной полостью. Сложные поковки с резкими изменениями сечений по длине, с изогнутой осью и т.п. штампуют в многоручьевых штампах.

Припуски на механическую обработку регламентируются ГОСТами с учетом точности поковки, которая определяется видом оборудования и технологией ГОШ (открытая или закрытая) и назначаются в основном на сопрягаемые поверхности.

Допуски учитывают возможные отклонения от номинальных размеров вследствие недоштамповки по высоте, сдвига частей штампов, их износа и т.п.

К кузнечным напускам относятся штамповочные уклоны, радиусы закруглений, перемычки отверстий.

Штамповочные уклоны назначаются сверх припуска, они повышают отход металла при механической обработке и утяжеляют поковку. Для наружных поверхностей, вследствие температурной усадки, уклоны меньше, чем для внутренних поверхностей.

Все пересекающиеся поверхности сопрягаются по радиусам. Это необходимо для лучшего заполнения полости штампа и предохранения его от преждевременного износа и поломок. Радиусы скругления зависят от глубины полости штампа. Внутренние радиусы скругления в $3\div 4$ раза больше, чем наружные. Наружные радиусы обычно составляют $1\div 6$ мм.

При штамповке в штампах с одной плоскостью разъема нельзя получить сквозное отверстие в поковке, поэтому наносят только наметку отверстия с перемычкой, удаляемой впоследствии в специальных штампах. Толщина перемычки (S) устанавливается в зависимости от диаметра отверстия (D), $S=0,1\cdot D$, но не должна быть менее 4 мм. Отверстия диаметром менее 30 мм не штампуются.

После штамповки в открытых штампах производят обрезание облоя и пробивку перемычек в специальных штампах, устанавливаемых на кривошипных прессах (рис. 50).

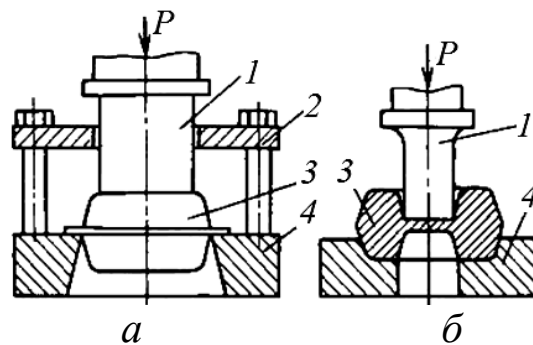


Рис. 50. Схемы обрезания облоя (а) и пробивки перемычек (б)

Правку штампованных поволоков выполняют для устранения искривления осей и искажения поперечных сечений, возникающих при затрудненном извлечении поволоков из штампа, после обрезания облоя, после термической обработки. Крупные поволоки и поволоки из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей правят в горячем состоянии либо в чистовом ручье штампа сразу после обрезания облоя, либо на обрезном прессе (обрезной штамп совмещается с правочным штампом), либо на отдельной машине. Мелкие поволоки правят на винтовых прессах в холодном состоянии после термической обработки.

Термическую обработку применяют для получения требуемых механических свойств поковок и облегчения их обработки резанием. Отжиг снимают в поковках из высокоуглеродистых и легированных сталей остаточные напряжения, измельчает зерно, снижает твердость, повышает пластичность и вязкость. Нормализацию применяют для устранения крупнозернистой структуры в поковках из сталей с содержанием углерода до 0,4 %.

Очистку поковок от окалины производят для облегчения контроля поверхности поковок, уменьшения износа металлорежущего инструмента и правильной установки заготовки на металлорежущих станках. На дробеструйных установках окалину с поковок, перемещающихся по ленте конвейера, сбивают потоком быстро летящей дроби диаметром 1÷2 мм. В галтовочных барабанах окалина удаляется благодаря ударам поковок друг о друга и о металлические звездочки, закладываемые во вращающийся барабан.

Калибровка поковок повышает точность размеров всей поковки или отдельных ее участков. В результате этого последующая механическая обработка устраняется полностью или ограничивается только шлифованием. Различают плоскостную и объемную калибровку. Плоскостная калибровка служит для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках поковки. Объемной калибровкой повышают точность размеров поковки в разных направлениях и улучшают качество ее поверхности. Калибруют в штампах с ручьями, соответствующими конфигурации поковки.

3.9.3. Оборудование для ГОШ

Оборудование для ГОШ – это молоты штамповочные, кривошипные горячештамповочные прессы (КГШП), горизонтальноковочные машины (ГКМ). Процессы штамповки на этих машинах имеют свои особенности, обусловленные устройством и принципом их действия.

ГОШ на молотах.

Основным типом молотов являются паровоздушные штамповочные молоты. Их конструкция несколько отличается от ковочных молотов. Стойка станины устанавливается непосредственно на шаботе. Молоты имеют усиленные регулируемые направляющие для движения бабы, что обеспечивает необходимую точность соударения штампов. Масса падающих частей составляет 630÷25000 кг.

Также используют молоты бесшаботной конструкции. Шабот заменен подвижной нижней бабой, связанной с верхней бабой механической или гидравлической связью. Энергия удара поглощается механизмами молота. При соударении верхней и нижней баб развивается значительная энергия, что позволяет штамповать поковки в одно-ручьевых штампах.

Особенностями ГОШ на молотах являются ударный характер деформирующего воздействия и возможность регулирования хода подвижных частей и величины удара при одновременном кантовании заготовки, что позволяет более эффективно производить перераспределение металла. На молотах возможно выполнение всех заготовительных переходов, в том числе протяжки и подката. Верхняя часть штампа заполняется лучше. Части штампа при штамповке на молоте должны смыкаться.

При штамповке в открытых штампах облойная канавка имеет вид, представленный на рис. 51.

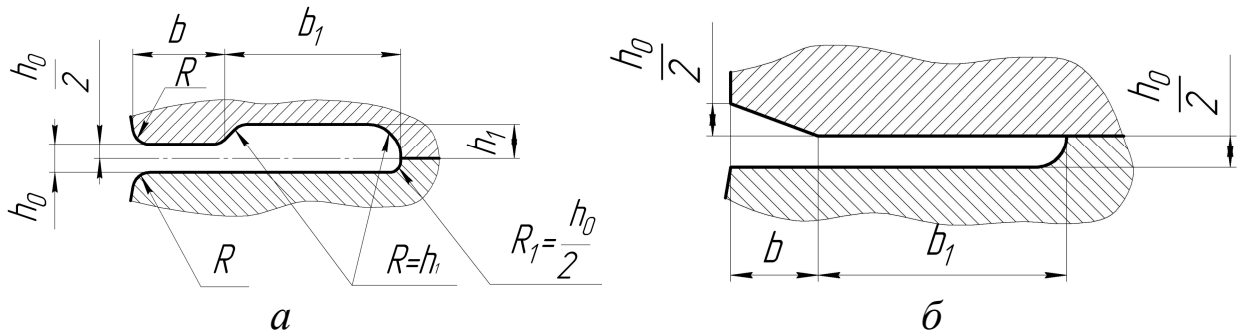


Рис. 51. Виды облойной канавки при штамповке на молотах

Размеры облойной канавки (рис. 51, *a*) назначаются в зависимости от сложности поковки и ее размеров в плане. Клиновидная облойная канавка (рис. 51, *б*) позволяет снизить потери на облой в результате повышения сопротивления течению металла.

При закрытой штамповке на молотах применяются штампы с одним и двумя замками (рис. 52). Штампы с одним замком используются чаще, так как они проще в изготовлении. Но они требуют точной наладки и хорошего состояния оборудования. Второй замок (большой конус) предохраняет первый замок и упрощает наладку штампа, но при этом увеличиваются его размеры и масса.

На молотах поковки изготавливаются с самыми низкими классами точности: Т4, Т5. Это обусловлено возможностью смещения частей штампа, отсутствием направляющих в конструкции штампа, ударным характером деформирования.

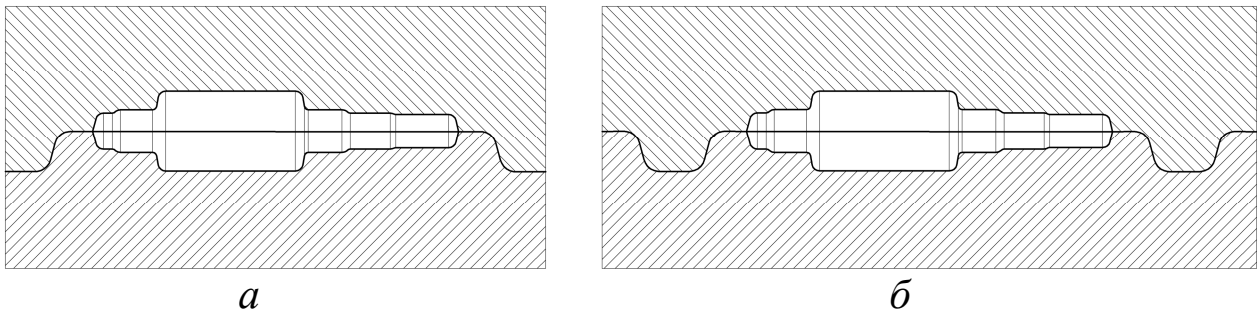


Рис. 52. Конструкции закрытых молотовых штампов:
а – с одним замком; *б* – с двумя замками

Допускаемые отклонения от номинальных размеров поковки соответствуют припускам, поэтому также являются увеличенными.

Кузнечные напуски имеют максимальные значения. Ввиду ударного характера работы молота в конструкции штампа нельзя использовать выталкиватели, поэтому для извлечения поковки из ручья штампа на вертикальных поверхностях поковок оформляются значительные штамповочные уклоны: наружные – до 7° , внутренние – до 10° . Радиусы закругления назначаются для облегчения течения металла, повышения стойкости штампа, обеспечения расположения волокон.

ГОШ на прессах.

Наиболее часто используются КГШП. Выбор пресса осуществляется по номинальному усилию, которое составляет $6,7 \div 100$ МН.

К особенностям конструкции пресса следует отнести жесткий привод, не позволяющий изменять ход ползуна, отсутствие ударных нагрузок. Жесткий привод не позволяет производить переходы, требующие постепенно возрастающего обжатия с кантованием (протяжка, подкат). Для фасонирования заготовки могут быть использованы заготовительные ручки: пережимной, гибочный. Поэтому при штамповке на прессах сложных заготовок, имеющих удлиненную форму в плане (шатуны, турбинные лопатки), фасонирование осуществляется ковочными вальцами, свободной ковкой, высадкой на ГКМ.

Отсутствие ударных нагрузок позволяет не применять массивные шаботы, использовать сборную конструкцию штампов (блок-штампы).

При открытой штамповке на прессах части штампа не должны смыкаться на величину, равную толщине облоя. Полость штампа выполняется открытой, и облойная канавка имеет вид, показанный на рис. 53.

Для закрытой штамповки используются штампы двух видов:

– с цельной матрицей, для изготовления поковок типа тел вра-

щения, усилие распора в них воспринимается матрицей и не передается ползуну прессы;

– с разъемной матрицей, для легкого извлечения из полости штампа поковок, что позволяет значительно уменьшить штамповочные уклоны.

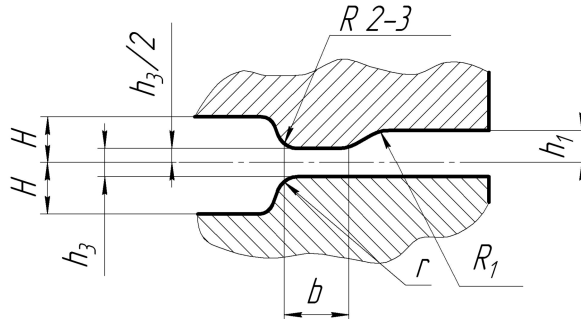


Рис. 53. Вид облойной канавки при штамповке на прессах

Поковки, полученные на прессах, характеризуются высокой точностью, которая достигается за счет снижения припусков на механическую обработку (в среднем на 20÷30 % по сравнению с поковками, полученными на молотах) и допускаемых отклонений на номинальные размеры, снижения штамповочных уклонов в 2÷3 раза. Наличие постоянного хода приводит к большей точности поковок по высоте, а жесткость конструкции прессы делает возможным применение направляющих колонок в штампах, что исключает сдвиг.

Производительность труда повышается в среднем в 1,4 раза за счет однократности и повышения мощности деформирующих воздействий. В результате себестоимость поковок снижается на 10÷30 %. Как показывают исследования, штамповка на прессах может быть экономически выгодной даже при загрузке оборудования на 35÷45 %.

При штамповке на прессах деформация глубже проникает в заготовку, что позволяет штамповать малопластичные материалы, применять штампы с разъемной матрицей с боковым течением металла.

Процессу штамповки на прессах присущи недостатки:

– окалина вдавливается в тело поковки, для предотвращения этого необходимо проводить малоокислительный или безокислительный нагрев или полную очистку заготовки от окалины;

– из-за невысокой скорости деформирования время контакта металла с инструментом больше, чем на молотах, поэтому имеет место переохлаждение поверхности заготовки, что приводит к худшему заполнению полости штампа.

Штамповка на ГКМ.

ГКМ представляет собой механический кривошипный штампо-

вочный пресс, имеющий разъемную матрицу, одна часть которой является подвижной – зажимной. Кроме главного деформирующего ползуна, имеется ползун, движение которого перпендикулярно движению главного. ГKM выбирают по номинальному усилию, которое составляет $1 \div 31,5$ МН.

Схема ГОШ на ГKM показана на рис. 54. Штамп состоит из трех частей: неподвижной матрицы 3, подвижной матрицы 5 и пуансона 1, размыкающихся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Пруток 4 с нагретым участком на его конце закладывают в неподвижную матрицу. Положение конца прутка определяется упором 2. При включении машины подвижная матрица 5 прижимает прутку к неподвижной матрице, упор автоматически отходит в сторону, и только после этого пуансон 1 соприкасается с выступающей частью прутка и деформирует ее. Металл при этом заполняет формующую полость, расположенную впереди зажимной части. Формующая полость может находиться только в матрице, только в пуансоне, а также в матрице и пуансоне.

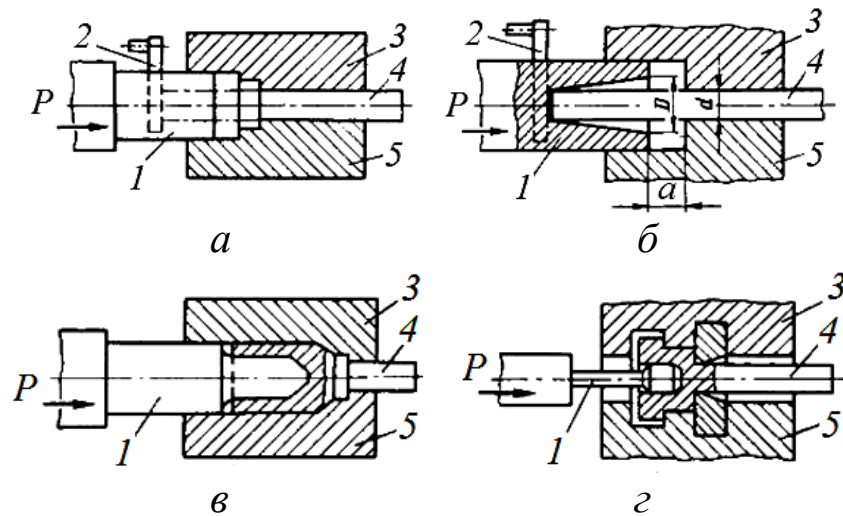


Рис. 54. Схема основных операций при ГОШ на ГKM:
а, б – высадка; в – прошивка; г – пробивка

После окончания деформирования пуансон движется в обратном направлении, выходя из полости матрицы. Матрицы разжимаются, деформированную заготовку вынимают или она выпадает из них.

Штамповка выполняется за несколько переходов в отдельных ручьях, оси которых расположены одна над другой. Каждый переход осуществляется за один рабочий ход ползуна. Осуществляются операции: высадка, прошивка, пробивка. За один переход можно высадить выступающий из зажимной части матрицы конец прутка только в том случае, если его длина не превышает трех диаметров. При

большой длине возможен изгиб заготовки, поэтому предварительно необходимо произвести набор металла. Набор металла осуществляется в полости пуансона, которой придают коническую форму.

В качестве исходной заготовки используют прутки круглого или квадратного сечения, трубный прокат. Штампуют поковки: стержни с утолщениями и глухими отверстиями, кольца, трубчатые детали со сквозными и глухими отверстиями. Напуски на поковки и штамповочные уклоны малы или отсутствуют, так как штамп состоит из трех частей.

К недостаткам ГKM следует отнести их малую универсальность и высокую стоимость.

Ротационные способы изготовления поковок.

В основе этих способов лежит процесс ротационного обжатия при вращении инструмента или заготовки. При обкатывании инструментом заготовки очаг деформации имеет локальный характер и постоянно перемещается по заготовке, вследствие чего усилие, действующее на инструмент, меньше, чем при штамповке. Это позволяет изготавливать поковки большой массы (заготовка вагонных осей) с большой точностью, так как упругие деформации при меньших усилиях меньше.

Штамповка на ковочных вальцах напоминает продольную прокатку, на двух валках закрепляют секторные штампы, имеющие соответствующие ручки (рис. 55, а).

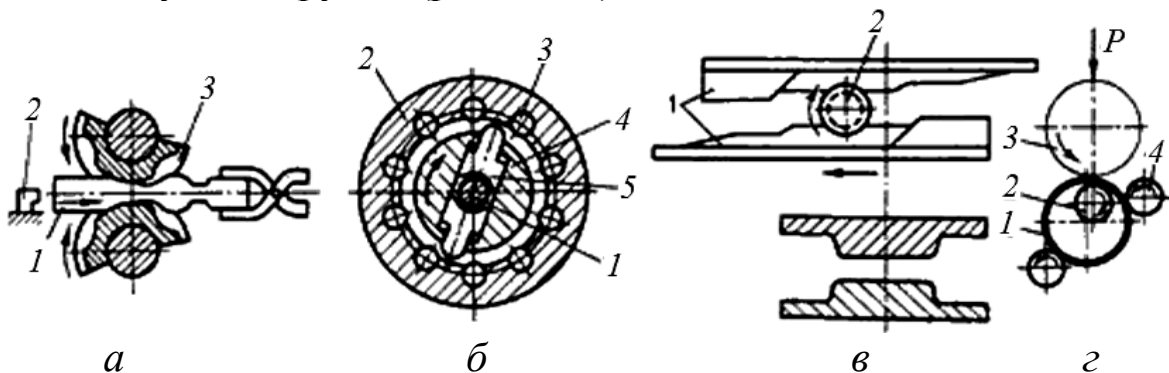


Рис. 55. Схемы работы ковочных вальцов (а), ротационно-ковочной машины (б), станов поперечно-клиновой прокатки (в) и раскатки (г)

Нагретую заготовку 1 (рис. 55, а) подают до упора 2, когда секторные штампы 3 расходятся. При повороте валков происходит захват заготовки и обжатие ее по форме полости; одновременно с обжатием заготовка выталкивается в сторону подачи.

На вальцах изготавливают поковки типа звеньев цепей, рычагов, гаечных ключей и т.п., а также осуществляют фасонирование заго-

товок. Исходное сечение заготовки принимают равным максимальному сечению поковки, так как при вальцовке происходит главным образом протяжка.

Штамповка на ротационно-ковочных машинах подобна операции протяжки и заключается в местном обжатии заготовки по периметру (рис. 55, б). Заготовку 1 в виде прутка или трубы помещают в отверстие между бойками 5 машины, находящимися в шпинделе 4. Бойки могут свободно скользить в радиально расположенных пазах шпинделя. При вращении шпинделя ролики 3, помещенные в обойме 2, толкают бойки 5, которые наносят удары по заготовке. В исходное положение бойки возвращаются под действием центробежных сил. В машинах этого типа получают поковки, имеющие форму тел вращения. Существуют машины, у которых вместо шпинделя с бойками вращается обойма с роликами; в этом случае для возвратного движения ползунов служат пружины. В таких машинах получают поковки квадратного, прямоугольного и других сечений.

Поперечно-клиновой прокаткой (рис. 55, в) получают заготовки валов и осей с резкими ступенчатыми переходами диаметром от 12 до 120 мм. Деформирование может осуществляться инструментом в виде двух валков, валка и сегмента или двух плоских плит. Плоско-клиновой инструмент наиболее прост и обеспечивает получение валов сложной конфигурации с высокой точностью. Заготовка 2 из круглого прокатанного прутка после нагрева автоматически перемещается в рабочую зону клиньев 1 в их исходном положении. Клиновой инструмент, закрепленный в подвижной салазке станка, совершает прямолинейное движение. Заготовка прокатывается между двумя клиновыми плитами.

Раскатка кольцевых заготовок на раскатных станах получила особенно большое распространение при производстве колец подшипников (рис. 55, г). Заготовка 1 представляет собой кольцо с меньшим диаметром и большей толщиной стенки, чем у поковки. Заготовки получают штамповкой на молотах или горизонтально-ковочных машинах. При подведении к заготовке 1, надетой на валок 2, быстро вращающегося валка 3 заготовка и валок 2 начинают вращаться. При дальнейшем сближении валков 2 и 3 увеличивается наружный диаметр заготовки за счет уменьшения толщины и происходит ее контакт с направляющим роликом 4, обеспечивающим получение правильной кольцевой формы поковки. После касания поковкой контрольного ролика 5 раскатка прекращается. Раскаткой получают поковки колец

с поперечными сечениями различной формы наружным диаметром $70 \div 700$ мм и шириной $20 \div 180$ мм.

Штамповка жидкого металла жидкого металла является одним из прогрессивных ТП, позволяющих получать плотные заготовки с уменьшенными пропусками на механическую обработку, с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

ТП штамповки жидкого металла объединяет в себе процессы литья и ГОШ. Процесс заключается в том, что расплав, залитый в матрицу пресс-формы, уплотняют пуансоном, закрепленным на ползуне гидравлического пресса, до окончания затвердевания.

Сопряжение пуансона и матрицы образует закрытую фасонную полость. Наружные контуры заготовки получают разъемной формой, если деталь имеет наружные выступы, или неразъемной формой – при отсутствии выступов. Внутренние полости образуются внедрением пуансона в жидкий металл.

После извлечения из пресс-формы заготовку подвергают различным видам обработки или используют без последующей обработки.

Под действием высокого давления и быстрого охлаждения газы, растворенные в расплаве, остаются в твердом растворе. Все усадочные пустоты заполняются незатвердевшим расплавом, в результате чего заготовки получаются плотными, с мелкокристаллическим строением, что позволяет изготавливать детали, работающие под гидравлическим давлением.

Этим способом можно получить сложные заготовки с различными фасонными приливами на наружной поверхности, значительно выходящими за пределы основных габаритных размеров детали. В заготовках могут быть получены отверстия, расположенные не только вдоль движения пуансона, но и в перпендикулярном направлении. Этим способом возможно запрессовывать в заготовки металлическую и неметаллическую арматуру.

Процесс используется для получения фасонных заготовок из чистых металлов и сплавов на основе магния, алюминия, меди, цинка, а также из черных металлов.

3.10. Холодная штамповка

Холодная штамповка производится в штампах без нагрева заготовок и сопровождается деформационным упрочнением металла.

Холодная штамповка является одним из наиболее прогрессив-

ных методов получения высококачественных заготовок небольших и точных из стали и цветных металлов. Она обеспечивает достаточно высокую точность и малую шероховатость поверхности при малых отходах металла и низкой трудоемкости и себестоимости изготовления изделий. Возможность осуществления холодной штамповки и качество заготовок определяются качеством исходного материала. Большое значение имеет подготовка поверхности заготовок: удаление окалины, загрязнений и поверхностных дефектов.

Процессы холодной штамповки часто выполняют за несколько технологических переходов, постепенно приближая форму и размеры заготовок к форме и размерам готовых изделий и осуществляя промежуточный отжиг для снятия наклепа и восстановления пластических свойств металла. В зависимости от характера деформирования и конструкции штампов холодную штамповку делят на объемную и листовую.

3.10.1. Объемная холодная штамповка

Холодную объемную штамповку выполняют на прессах или специальных холодноштамповочных автоматах. Основными ее разновидностями являются: высадка, выдавливание, объемная формовка, чеканка.

Высадка – образование на заготовке местных утолщений требуемой формы в результате осадки ее конца (рис. 56).

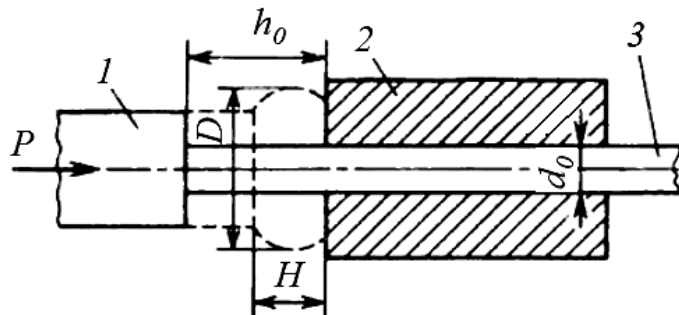


Рис. 56. Схема высадки

Заготовкой обычно служит холоднотянутый материал в виде проволоки или прутка из черных или цветных металлов. Высадкой изготавливают стандартные и специальные крепежные изделия, кулачки, валы-шестерни, детали электронной аппаратуры, электрические контакты и т.д.

Последовательность переходов изготовления деталей показана на рис. 57: за три перехода (рис. 57, а); за пять переходов (рис. 57, б).

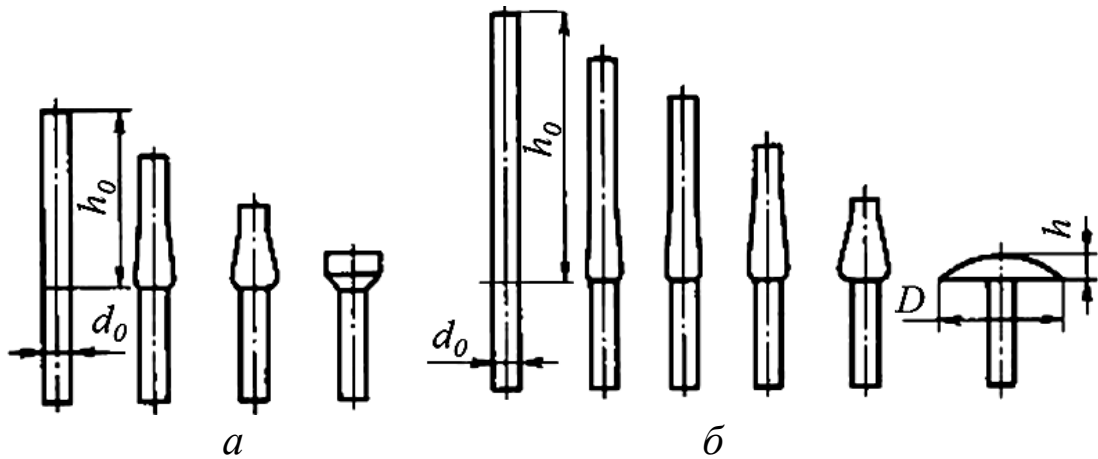


Рис. 57. Последовательность переходов изготовления детали

При большом количестве переходов происходит упрочнение металла, поэтому требуется отжиг.

Высадка осуществляется на прессах, ГКМ, автоматических линиях, оснащенных холодновысадочными пресс-автоматами.

Выдавливание – формообразование сплошных или полых изделий, благодаря пластическому течению металла из замкнутого объема через отверстия соответствующей формы.

Особенностью процесса является образование в очаге деформации схемы трехосного неравномерного сжатия, повышающего технологическую пластичность материала. Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание (рис. 58).

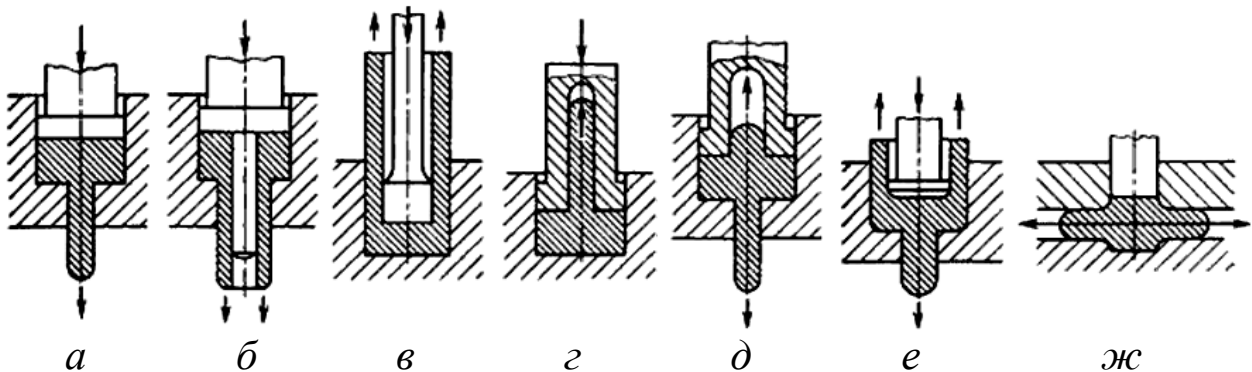


Рис. 58. Схемы выдавливания:

a, б – прямого; *в, г* – обратного; *д, е* – комбинированного; *ж* – бокового

При *прямом* выдавливании металл течет из матрицы 2 в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона 1 (рис. 58, *a, б*). Этим способом можно получить детали типа стержня с утолщением, трубки с фланцем, стакана с фланцем.

При *обратном* выдавливании металл течет в направлении, противоположном направлению движения пуансона, в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей для получения полых деталей с дном

(рис. 58, в) или в полый пуансон для получения деталей типа стержня с фланцем (рис. 58, з).

При *боковом* выдавливании металл течет в боковые отверстия матрицы под углом к направлению движения пуансона (рис. 58, ж). Таким образом, можно получить детали типа тройников, крестовин и т.п. Для обеспечения удаления заготовок из штампа матрицу выполняют состоящей из двух половинок с плоскостью разъема, проходящей через осевые линии исходной заготовки и получаемого отростка.

При *комбинированном* выдавливании металл течет по нескольким направлениям (рис. 58, д, е). Возможны сочетания различных схем.

Заготовки для выдавливания отрезают от прутков или вырубляют из листа. Размер заготовок рассчитывают с учетом потерь на последующую обработку. Форма заготовки и ее размеры для полых деталей без фланца соответствуют наружным размерам детали; для деталей с фланцем – диаметру фланца; для деталей стержневого типа – размерам головки.

Объемная формовка – формообразование изделий путем заполнения металлом полости штампа. Схемы объемной формовки представлены на рис. 59.

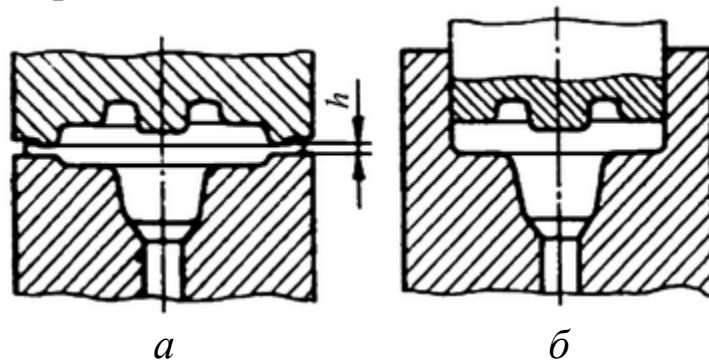


Рис. 59. Схемы объемной формовки:

а – в открытых штампах; *б* – в закрытых штампах

Объемная формовка производится в открытых штампах, где излишки металла вытекают в специальную полость для образования облоя (рис. 59, а), и в закрытых штампах, где облой не образуется (рис. 59, б). Формовку в закрытых штампах применяют реже из-за больших сложности и стоимости получения заготовок точного объема, необходимости использования более мощного оборудования и меньшей стойкости штампов. В закрытых штампах получают в основном детали из цветных металлов.

Объемной формовкой изготавливают пространственные детали сложных форм, сплошные и с отверстиями. Холодная объемная

формовка требует значительных удельных усилий вследствие высокого сопротивления металла деформированию в условиях холодной деформации и упрочнения металла в процессе деформации. Упрочнение сопровождается снижением пластичности металла. Для облегчения процесса деформирования оформление детали расчленяется на переходы, между которыми заготовку подвергают рекристаллизационному отжигу. Каждый переход осуществляют в специальном штампе, а между переходами обрезают облой для уменьшения усилия деформирования и повышения точности размеров деталей.

Заготовкой служит полоса или прутки, причем процесс штамповки может осуществляться непосредственно в полосе или прутке или из штучных заготовок. В качестве оборудования используют прессы, однопозиционные и многопозиционные автоматы.

Чеканка – образование рельефных изображений на деформируемом материале. Чеканка осуществляется в закрытых штампах на чеканочных фрикционных и гидравлических прессах.

При холодной штамповке коэффициент использования материала достигает 95 %. При холодном деформировании формируется благоприятная ориентированная волокнистая структура металла, что придает деталям высокую усталостную прочность при динамических нагрузках. Это позволяет получать конструкции с меньшими размерами и металлоемкостью, чем у конструкций, полученных обработкой резанием, не снижая при этом их надежность. Но для холодной объемной штамповки требуется дорогостоящий специальный инструмент, что делает целесообразным ее применение только в массовом и крупносерийном производствах.

3.10.2. Листовая штамповка

Листовая штамповка – один из видов холодной обработки давлением, при которой листовая материал деформируется в холодном или подогретом состоянии.

Листовой штамповкой изготавливаются разнообразные плоские и пространственные детали – от мелких (секундная стрелка часов), до средних (металлическая посуда, крышки, кронштейны) и крупных (облицовочные детали автомобилей).

Толщина заготовки при листовой штамповке обычно не более 10 мм, но иногда может превышать 20 мм, в этом случае штамповка осуществляется с предварительным подогревом до ковочных температур.

При листовой штамповке используют: низкоуглеродистые стали, пластичные легированные стали, цветные металлы и сплавы на их основе, драгоценные металлы, а также неметаллические материалы: органическое стекло, фетр, целлулоид, текстолит, войлок и др.

Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно в автомобилестроении, ракетостроении, самолетостроении, приборостроении, электротехнической промышленности.

Основные преимущества листовой штамповки:

- возможность изготовления прочных легких и жестких тонкостенных деталей простой и сложной формы, получить которые другими способами невозможно или затруднительно;
- высокие точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить механическую обработку;
- сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность (30 000÷40 000 деталей в смену с одной машины);
- хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически выгодна и в массовом, и в мелкосерийном производствах.

Холодная листовая штамповка заключается в выполнении в определенной последовательности разделительных и формоизменяющих операций, посредством которых исходным заготовкам придают форму и размеры детали.

Операцией листовой штамповки называется процесс пластической деформации, обеспечивающий характерное изменение формы определенного участка заготовки.

Различают *разделительные* операции, в которых этап пластического деформирования обязательно завершается разрушением, и *формообразующие* операции, в которых заготовка не должна разрушаться в процессе деформирования. При проектировании ТП изготовления деталей листовой штамповкой основной задачей является выбор наиболее рациональных операций и последовательности их применения, позволяющих получить детали с заданными эксплуатационными свойствами при минимальной себестоимости и хороших условиях труда.

Все операции выполняются при помощи специальных инструментов – штампов, которые имеют различные конструкции в зависимости от назначения. Штампы состоят из рабочих элементов – матри-

цы и пуансона, и вспомогательных частей – прижимов, направляющих, ограничителей и т.д. Пуансон вдавливается в деформируемый металл или охватывается им, а матрица охватывает изменяющую форму заготовку и пуансон.

Разделительные операции предназначены или для получения заготовки из листа или ленты, или для отделения одной части заготовки от другой. Операции могут выполняться по замкнутому или по незамкнутому контуру.

Отделение одной части заготовки от другой осуществляется относительным смещением этих частей в направлении, перпендикулярном к плоскости заготовки. Это смещение вначале характеризуется пластическим деформированием, а завершается разрушением.

Отрезка – отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах – ножницах или в штампах. Обычно ее применяют как заготовительную операцию для деления листов на полосы и заготовки нужных размеров. Основные типы ножниц представлены на рис. 60.

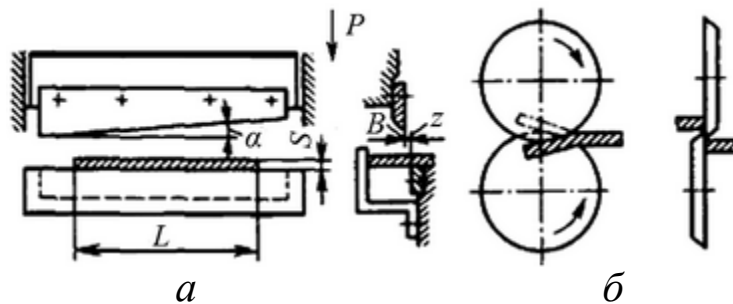


Рис. 60. Схемы действия ножниц: *а* – гильотинных; *б* – дисковых

Ножницы с поступательным движением режущих кромок ножа могут быть с параллельными ножами, для резки узких полос, с одним наклонным ножом – гильотинные (рис. 60, *а*). Режущие кромки в гильотинных ножницах наклонены друг к другу под углом $\alpha=1\div 5^\circ$ для уменьшения усилия резания. Лист подают до упора, определяющего ширину отрезаемой полосы B . Длина отрезаемой полосы L не должна превышать длины ножей.

Ножницы с вращательным движением режущих кромок – дисковые (рис. 60, *б*). Длина отрезаемой заготовки не ограничена инструментом. Вращение дисковых ножей обеспечивает не только разделение, но и подачу заготовки под действием сил трения. Режущие кромки ножей заходят одна за другую, это обеспечивает прямолинейность линии отрезки. Для обеспечения захвата и подачи заготовки диаметр ножей должен быть в $30\div 70$ раз больше толщины заготовки, увеличиваясь с уменьшением коэффициента трения.

Вырубка и пробивка – отделение металла по замкнутому контуру в штампе. При вырубке и пробивке характер деформирования заготовки одинаков. Эти операции отличаются только назначением. Вырубкой оформляют наружный контур детали, а пробивкой – внутренний контур (изготовление отверстий). Схема процессов вырубки и пробивки представлена на рис. 61.

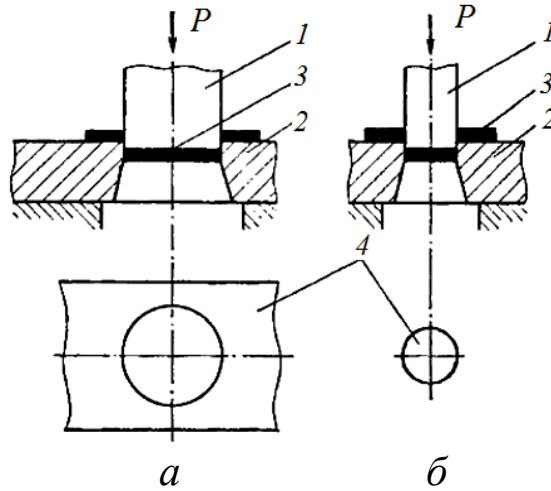


Рис. 61. Схема процессов вырубки (а) и пробивки (б):
1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – изделие; 4 – отход

Вырубку и пробивку осуществляют металлическими пуансоном и матрицей. Пуансон вдавливает часть заготовки в отверстие матрицы.

Основным технологическим параметром операций является радиальный зазор между пуансоном и матрицей z . Зазор z назначают в зависимости от толщины металла (S) и механических свойств заготовки, он приблизительно составляет $(0,05 \div 0,10)S$. При вырубке размеры отверстия матрицы равны размерам изделия, а размеры пуансона на $2z$ меньше их. При пробивке размер пуансона равен размерам отверстия, а размеры матрицы на $2z$ больше их.

Уменьшение усилия процесса сдвига металла достигается выполнением скоса на матрице при вырубке, на пуансоне – при пробивке.

При штамповке мало- и среднегабаритных деталей из листовой полосы вырубают несколько плоских заготовок. Между смежными контурами вырубаемых заготовок оставляют перемычки шириной, примерно равной толщине заготовки. В отдельных случаях смежные заготовки вырубают без перемычек (экономия металла при ухудшении качества среза и снижении стойкости инструмента).

Расположение контуров смежных вырубаемых заготовок на листовом материале называется раскроем. Часть заготовки, оставшаяся после вырубки, называется высечкой. Высечка составляет

основной отход при листовой штамповке. Тип раскроя следует выбирать из условия уменьшения отхода металла в высечку (рис. 62).

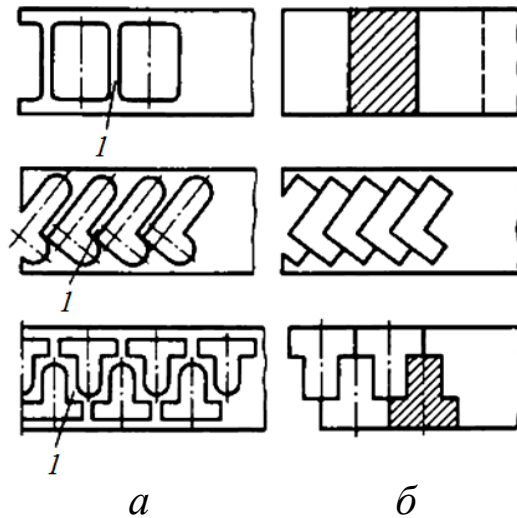


Рис. 62. Примеры раскроя материала с перемычками 1 (а) и без перемычек (б)

Экономия металла может быть получена: уменьшением расхода металла на перемычки, применением безотходного и малоотходного раскроя, повышением точности расчета размеров заготовки и уменьшением припусков на обрезку.

Формообразующие операции листовой штамповки.

При формообразующих операциях стремятся получить заданную величину деформации, чтобы заготовка приобрела требуемую форму.

Основные формообразующие операции: гибка, вытяжка, отбортовка, обжим, раздача, рельефная формовка.

Гибка – образование угла между частями заготовки или придание заготовке криволинейной формы.

При гибке пластически деформируется только участок заготовки в зоне контакта с пуансоном 1 (рис. 63, а): наружные слои заготовки растягиваются, а внутренние – сжимаются. Деформация растяжения наружных слоев и сжатия внутренних увеличивается с уменьшением радиуса скругления рабочего торца пуансона, при этом возрастает вероятность образования трещин. Поэтому минимальный радиус пуансона ограничивается величиной в пределах $0,1 \div 2,0$ от толщины заготовки, в зависимости от механических свойств материала.

При снятии нагрузки растянутые слои заготовки упруго сжимаются, а сжатые – растягиваются, что приводит к изменению угла гибки, т.е. к пружинению детали. Это следует учитывать или уменьшением угла инструмента на величину пружинения, или применением в конце рабочего хода дополнительного усилия.

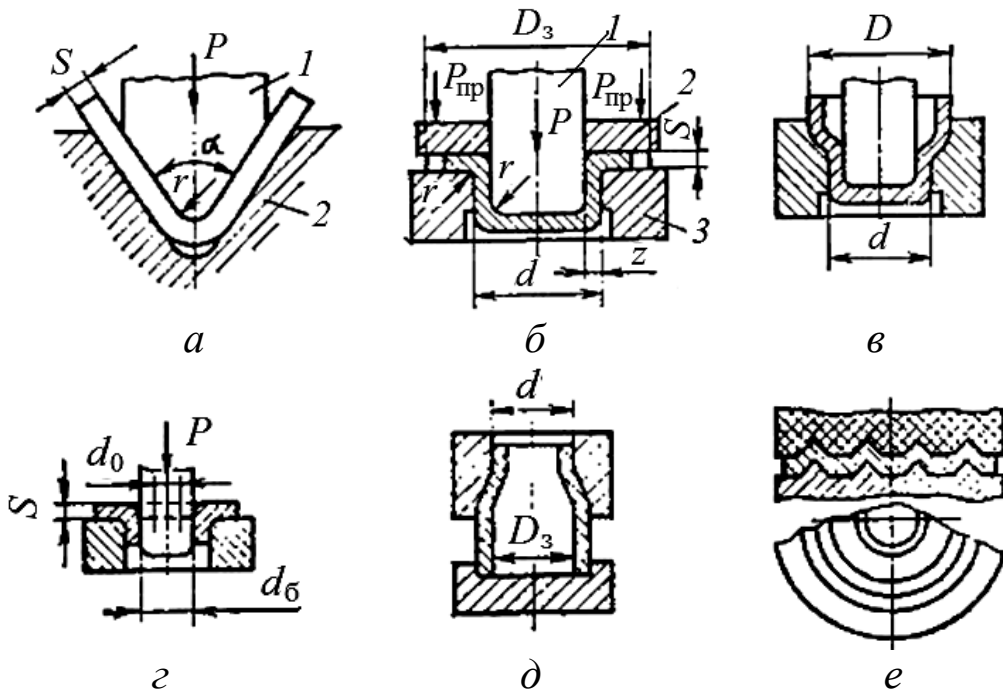


Рис. 63. Формообразующие операции листовой штамповки

Гибку производят в штампах, а также вращающимися фигурными роликами, играющими роль матрицы, на профилегибочных станах.

Вытяжка – образование полого изделия из плоской или полый заготовки (рис. 63, б). Вырубленную заготовку диаметром D и толщиной S укладывают на плоскость матрицы 3. Пуансон 1 надавливает на заготовку, и она, смещаясь в отверстие матрицы, образует стенки вытянутой детали диаметром d . При вытяжке зазор (z) между матрицей и пуансоном составляет $(1,0 \div 1,3)S$.

Формоизменение при вытяжке оценивают коэффициентом вытяжки $k_B = D/d$, который в зависимости от механических характеристик металла и условий вытяжки не должен превышать 2,1.

При $D-d > (18 \div 20)S$, возможны потеря устойчивости фланца и образование складок при вытяжке. Их предотвращают прижимом 2 фланца заготовки к матрице с определенным усилием.

Высокие детали малого диаметра получают за несколько операций вытяжки с постепенным уменьшением диаметра D полуфабриката и увеличением его высоты (рис. 63, в). При последующих переходах для предотвращения разрушения металла принимают $k_B = D/d = 1,2 \div 1,4$.

Промежуточный отжиг для устранения наклепа позволяет увеличить k_B до $1,4 \div 1,6$. Опасность разрушения заготовок устраняют применением смазочных материалов для уменьшения сил трения между поверхностями заготовок и инструмента.

Отбортовка – получение борта диаметром d_6 путем вдавливания центральной части заготовки с предварительно пробитым отверстием d_0 в матрицу (рис. 63, з).

Формоизменение оценивают коэффициентом отбортовки $k_{II} = d_6/d_0 < 1,8$. Коэффициент зависит от механических характеристик металла заготовки и ее относительной толщины S/d_0 . Большое увеличение диаметра можно получить, если заготовку отжечь перед отбортовкой или изготовить отверстие резанием, создающим меньшее упрочнение у края отверстия.

Отбортовку применяют для изготовления кольцевых деталей с фланцами и для образования уступов в деталях для нарезания резьбы, сварки, а также для увеличения жесткости конструкции при малой массе.

Выделяется отбортовка наружного контура – образование невысоких бортов по наружному криволинейному краю заготовки.

Обжим – уменьшение периметра поперечного сечения части полый заготовки. Производится заталкиванием заготовки в сужающуюся полость матрицы (рис. 63, д). За один переход можно получить $d = (0,7 \div 0,8)D_3$. Для большего формоизменения выполняют несколько последовательных операций обжима.

Раздача – увеличение периметра поперечного сечения части полый заготовки. Операция противоположная обжиму.

Рельефная формовка – местное деформирование заготовки с целью образования рельефа в результате уменьшения толщины заготовки (рис. 63, е). Формовкой получают конструкционные выступы и впадины, ребра жесткости, лабиринтные уплотнения.

Штампы для листовой штамповки делятся по технологическому признаку в зависимости от выполняемой операции: вырубные, гибочные, вытяжные и т.д. В зависимости от числа выполняемых операций различают одно- и многооперационные штампы. Многооперационные штампы бывают последовательного действия, в которых операции выполняются последовательно при перемещении заготовки по нескольким рабочим позициям штампа, и совмещенного действия, в которых операции выполняются на одной позиции, например: одновременно вырубка и пробивка, вырубка и вытяжка и т.д.

В настоящее время применяют специальные конструкции штампов, в которых металлические пуансоны или матрицы отсутствуют, и давление на материал осуществляется при помощи резины, жидкости или сжатого воздуха (рис. 64). При этом резина или жидкость легко удаляются из штампованной детали, а матрица должна быть разъемной.

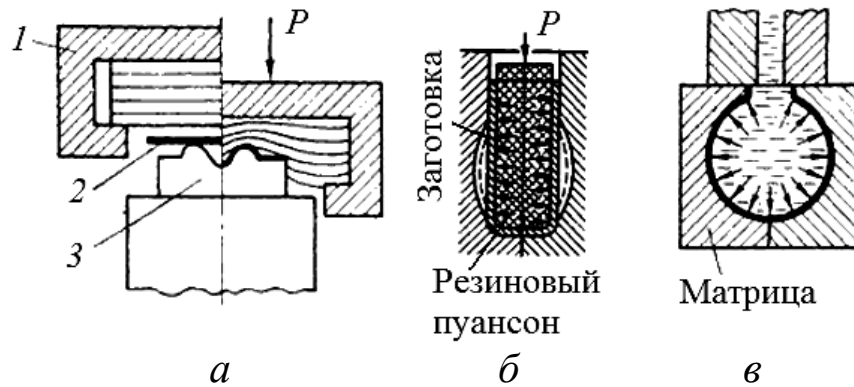


Рис. 64. Схемы листовой штамповки при помощи эластичной среды и жидкости

При изготовлении небольших по глубине изделий пуансон заменяет резиновая подушка (рис. 64, а). С помощью резины можно осуществлять все операции: вырубку, гибку, вытяжку, формовку. Матрица 3 крепится к столу, а резиновая подушка, помещенная в стальную обойму 1, крепится к ходовой части пресса (толщина заготовки 2 – до 1,5 мм).

Резиновые пуансоны цилиндрической формы применяются при вытяжке изделий сложной формы, при необходимости увеличения диаметральных размеров средней части цилиндрических полуфабрикатов (рис. 64, б).

При гидравлической вытяжке (рис. 64, в) полые детали цилиндрической, конической, сферической или другой формы получают надавливанием на заготовку жидкостью или жидкостью, заключенной в эластичную оболочку.

3.10.3. Высокоскоростные методы штамповки

Особенностью таких методов является высокая скорость деформирования в соответствии с высокими скоростями преобразования энергии. Кратковременное приложение больших усилий разгоняет заготовку до скоростей 150 м/с. Последующее ее деформирование происходит за счет накопленной в период разгона кинетической энергии. Основными разновидностями высокоскоростной листовой штамповки являются: штамповка взрывом, электрогидравлическая и электромагнитная штамповка (рис. 65).

Электрогидравлическую штамповку (рис. 65, а) также осуществляют в емкости с водой. Ударная волна, разгоняющая заготовку, возникает при кратковременном электрическом разряде в жидкости. Мощный искровой разряд подобен взрыву. В результате разряда

в жидкости возникает ударная волна, которая, дойдя до заготовки, оказывает на нее сильное воздействие и деформирует ее по матрице.

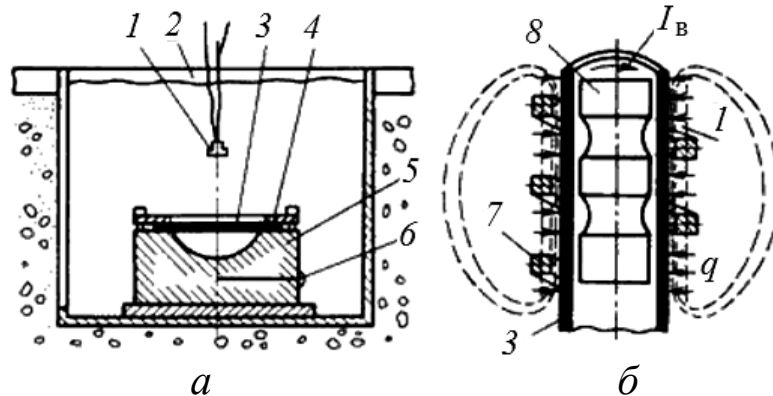


Рис. 65. Штамповка взрывом, электрогидравлическая (а) и электромагнитная (б)

При *электромагнитной штамповке* (рис. 65, б) электрическая энергия преобразуется в механическую за счет импульсного разряда батареи конденсаторов через соленоид 7, вокруг которого при этом возникает мгновенное магнитное поле высокой мощности, наводящее вихревые токи в трубчатой токопроводящей заготовке 3. Взаимодействие магнитных полей вихревых токов с магнитным полем индуктора создает механические силы, деформирующие заготовку. Для электромагнитной штамповки трубчатых и плоских заготовок созданы установки, на которых можно проводить обжим, раздачу, формовку и операции получения неразъемных соединений деталей.

3.11. Формообразование заготовок из порошковых материалов

Заготовки из порошковых материалов получают прессованием (холодным, горячим), изостатическим формованием, прокаткой и другими способами.

При *холодном прессовании* в пресс-форму (рис. 66, а) засыпают определенное количество подготовленного порошка 3 и прессуют пуансоном 1.

В процессе прессования увеличивается контакт между частицами, уменьшается пористость, деформируются или разрушаются отдельные частицы. Прочность получаемой заготовки достигается благодаря силам механического сцепления частиц порошка электростатическими силами притяжения и трения. С увеличением давления прессования прочность заготовки возрастает. Давление распределяется неравномерно по высоте прессуемой заготовки из-за влияния сил

трения порошка о стенки пресс-формы, вследствие чего заготовки получаются с различной прочностью и пористостью по высоте. В зависимости от размеров и сложности прессуемых заготовок применяют одно- и двустороннее прессование.

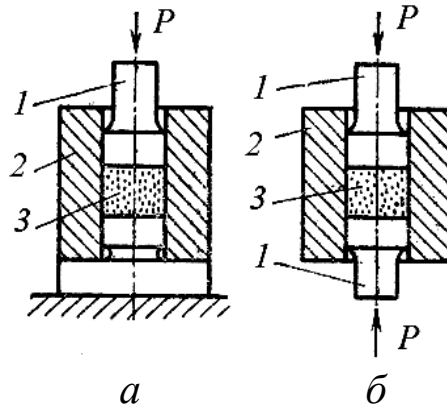


Рис. 66. Схема холодного прессования:
а – одностороннего; б – двустороннего

Односторонним прессованием получают заготовки простой формы с отношением высоты к диаметру, меньшим единицы, и заготовки втулок с отношением наружного диаметра к толщине стенки, меньшим трех.

Двустороннее прессование (рис. 66, б) применяют для формования заготовок сложной формы. После заполнения пресс-формы порошком к верхнему пуансону с помощью гидропресса прикладывают давление для предварительного прессования. Затем гидропривод выключают и удаляют подкладку 4. В дальнейшем в процессе прессования участвуют оба пуансона. В этом случае требуемое давление для получения равномерной плотности снижается на 30÷40 %. Использование вибрационного прессования позволяет в десятки раз уменьшить требуемое давление.

В процессе прессования частицы порошка подвергаются упругому и пластическому деформированию. После извлечения заготовки из пресс-формы ее размеры увеличиваются в результате упругого последействия.

При *горячем прессовании* технологически совмещаются прессование и спекание заготовки. Температура горячего прессования составляет обычно 0,6÷0,8 температуры плавления порошка. Благодаря нагреву уплотнение протекает гораздо интенсивнее, чем при холодном прессовании. Это позволяет значительно уменьшить необходимое давление. Горячим прессованием получают материалы, характеризую-

щиеся высокой прочностью и однородностью структуры. Этот способ применяют для таких плохо прессуемых композиций, как тугоплавкие металлоподобные соединения (карбиды, бориды, силициды).

Изостатическое (всестороннее) формование применяют для получения крупногабаритных заготовок с массой до 500 кг и более. Отсутствие потерь на внешнее трение и равномерность давления со всех сторон дают возможность получать необходимую плотность заготовок при давлениях, значительно меньших, чем при прессовании в закрытых пресс-формах.

При гидростатическом формовании (рис. 67) на порошок 3, заключенный в эластичную оболочку 2, передается давление с помощью жидкости, находящейся в сосуде высокого давления 1. В качестве рабочей жидкости используют масло, глицерин, воду и т.д.

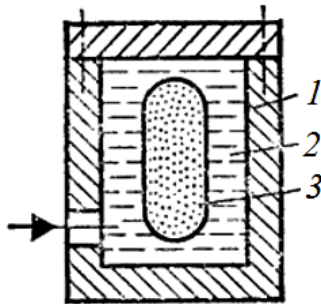


Рис. 67. Схема гидростатического формования

Прокатка – наиболее производительный и перспективный способ переработки порошковых материалов. Характерной особенностью является высокая степень автоматизации и непрерывность прокатки. Схема прокатки представлена на рис. 68.

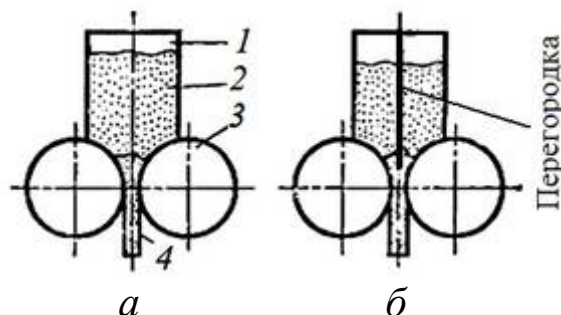


Рис. 68. Схема прокатки порошков

Порошок непрерывно поступает из бункера 1 (рис. 68, а) в зазор между вальками. При вращении валков 3 происходит обжатие и вытяжка порошка 2 в ленту или полосу 4 определенной толщины. Прокатка может быть совмещена со спеканием и окончательной обработкой получаемых заготовок. В этом случае лента проходит че-

рез печь для спекания, а затем снова подвергается прокатке для получения листов заданных размеров. Применяя бункеры с перегородкой (рис. 68, б), изготавливают ленты из разных материалов (двухслойные). Применение валков определенной формы позволяет получать изделия различного профиля, в том числе и проволоку.

3.12. Дефекты деформированного металла

К основным дефектам деформированного металла относятся трещины, флокены, плены, прижоги и др.

Трещины бывают одиночные или групповые, расположенные беспорядочно или идущие в определенном направлении. По длине они достигают нескольких метров, глубина трещин до 10÷15 мм, в зависимости от размеров проката, причин и условий возникновения дефекта.

Штамповочные трещины (трещины горячего деформационного происхождения) связаны с пониженной пластичностью материала и имеют, как правило, извилистый характер. Характерным структурным признаком, свидетельствующим об образовании трещины в процессе горячей деформационной обработки, является объединение легирующими элементами материала детали в зоне ее полостей, которое на микрошлифах проявляется в виде наблюдаемых белых, не травящихся полос, окаймляющих берега трещины.

Трещины напряжения – дефект, представляющий собой направленную вглубь металла, часто под прямым углом к поверхности, трещину, образующуюся вследствие объемных изменений, связанных со структурными превращениями или с нагревом и охлаждением металла.

Флокены представляют собой волосные трещины с кристаллическим строением поверхности стенок, образующиеся внутри толстого проката или поковок (диаметром более 30 мм) из сталей перлитного и мартенситного классов (хромистых, хромоникельвольфрамовых, марганцовистых и некоторых других легированных сталей). Флокены можно наблюдать на изломах в виде пятен круглой или овальной формы, имеющих серебристо-белую блестящую окраску и называемых «хлопьями», а на макро- и микрошлифах – в виде прямых, иногда извилистых и зигзагообразных линий длиной от нескольких десятков долей миллиметра до 10÷15 мм и более. В малых сечениях изделий прокатанной стали (диаметром менее 25÷30 мм) флокены никогда не обнаруживаются так же, как и в литой стали. Флокены не встречаются также в сталях аустенитного класса. Характерным для флокенов явля-

ется расположение в виде групп преимущественно в средней части проката или поковки по толщине. Причина образования флокенов – это возникновение значительных структурных напряжений и охрупчивание стали в сердцевине, вызванное присутствием водорода, не успевшего выделиться из металла при быстром охлаждении.

Волосовины – мелкие внутренние или выходящие на поверхность трещины, образовавшиеся из газовых пузырей или неметаллических включений при прокате или ковке. Они направлены вдоль волокон металла и в поперечном изломе видны как точки или линии небольшой высоты. Шлаковые и песчаные включения не способны пластически деформироваться и при обжатии слитка распадаются на большое число обломков с острыми углами, образуя при вытяжке цепочки вдоль волокон. Силикаты железа, марганца и других элементов при температуре прокатки могут быть пластичны, поэтому вытягиваются вдоль волокон прокатанного металла. Длина волосовин 20÷30 мм, а иногда 100÷150 мм. Встречаются волосовины во всех конструкционных сталях.

Расслоения – нарушения сплошности внутри прокатанного металла, представляющие собой раскатанные крупные дефекты слитка (глубокие усадочные раковины, усадочная пористость, скопления пузырей или неметаллических включений). Характерным для расслоения является то, что поверхность нарушения сплошности параллельна плоскости прокатки. Так, раскатанные скопления неметаллических включений дают внутреннюю прослойку, разделяющую лист или профиль на две, три или несколько частей.

Внутренние разрывы – сравнительно крупные нарушения сплошности внутренней части заготовки, периодически повторяющиеся по ее длине. Поверхность излома по разрыву крупнокристаллическая. Разрывы возникают под влиянием сил растяжения вследствие неодинаковой деформации наружных и внутренних слоев прокатываемого металла с малой пластичностью. Наблюдаются при прокатке высоколегированных сталей. Разрывы, возникшие в начальной стадии прокатки, при дальнейшей значительной деформации могут образовать расслоения.

Рванины – разрывы или надрывы металла разнообразного очертания с рваными краями. Чаще расположены на кромках листов, профилей. К образованию рванин при прокатке слитков особенно склонны высоколегированные стали с крупнозернистой структурой.

Скворечник представляет собой раскрывшуюся при деформации внутреннюю поперечную термическую трещину в слитках или

заготовках. На макрошлифе наблюдается полость с разрывами, входящими на поверхность.

Закаты и заковы – вдавленные и закатанные (закованные) заусенцы или возвышения (бугорки) на поверхности, получившиеся при предыдущем пропуске слитка через калибр прокатного стана. При этом металл заусенца или возвышения не сваривается с основной массой проката. Закат, образовавшийся от заусенца, похож на продольную трещину, а от возвышения – на плену с криволинейным незамкнутым контуром. Иногда закат образуется от остатков усадочной раковины после обрезки верхней части слитка с усадочной раковиной. При прокатке раковина не заваривается из-за окислов на ее стенках.

Плены представляют собой сравнительно тонкие плоские отслоения на поверхности прокатанного или кованого металла. В большинстве случаев плены имеют вид «языка», у которого уширенный и утолщенный конец составляет одно целое с основной массой металла. По размерам плены бывают от мелких едва заметных чешуек до 100 мм и более по длине и ширине (в толстых листах); толщина плен колеблется от десятых долей миллиметра до 3÷5 мм и более. Причинами образования плен могут быть неудовлетворительное качество слитков (наличие на поверхности отливки плен, плохая раскисленность и пузырчатость металла) и нарушение режимов прокатки (неудовлетворительная калибровка, неправильная насечка валков, образование заусенцев и рванин в самом начале прокатки).

Прижоги – дефекты, образующиеся при локальном перегреве материала, например в процессе клеймения (маркировки) деталей электрографом. При металлографическом анализе материала деталей наличие прижогов устанавливается по белым, нетравящимся участкам, видимым на поверхности травленого шлифа.

4. СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Сварка – ТП получения неразъемных соединений в результате возникновения атомно-молекулярных связей между соединяемыми деталями при их нагреве и пластическом деформировании.

Сварные соединения можно получать двумя принципиально разными путями: сваркой плавлением и сваркой давлением.

При *сварке плавлением* атомно-молекулярные связи между деталями создают, оплавляя их примыкающие кромки так, чтобы получилась смачивающая их общая ванна. Эта ванна затвердевает при охлаждении и соединяет детали в одно целое. Как правило, в жидкую ванну вводят дополнительный металл, чтобы полностью заполнить зазор между деталями, но возможна сварка и без него.

При *сварке давлением* обязательным является совместная пластическая деформация деталей сжатием зоны соединения. Этим обеспечивается очистка свариваемых поверхностей от пленок загрязнений, изменение их рельефа и образование атомно-молекулярных связей. Пластической деформации обычно предшествует нагрев, так как с ростом температуры уменьшается значение деформации, необходимой для сварки, и повышается пластичность металла.

Нагрев свариваемых деталей осуществляется разными способами: электрической дугой, газокислородным пламенем, пропусканием тока, лазером и т.д. По-разному обеспечиваются защита зоны сварки от воздействия воздуха и ее принудительная деформация.

Основными преимуществами сварных соединений являются: экономия металла; снижение трудоемкости изготовления корпусных деталей; возможность изготовления конструкций сложной формы из отдельных деталей, полученных ковкой, прокаткой, штамповкой.

Сварным конструкциям присущи и некоторые недостатки: появление остаточных напряжений; коробление в процессе сварки; плохое восприятие знакопеременных напряжений, особенно вибраций; сложность и трудоемкость контроля.

Сваркой соединяют не только металлические материалы, но также и металлы с неметаллами и неметаллические материалы между собой (например, сталь – стекло, медь – керамика и др.).

Качество сварных соединений и затраты на их выполнение для различных металлов зависят от применения разных видов и условий сварки. Свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее

требованиям, обусловленным спецификой конструкции и условиями ее эксплуатации, называется технологической свариваемостью, или просто свариваемостью.

Свариваемость – свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Хорошей свариваемостью обладают материалы, для качественного соединения которых не требуется создания специального оснащения и расхода дополнительных материальных и трудовых затрат. Материалы, для сварки которых требуется специальное оснащение, специальные технологические приемы и особая последующая обработка (сварка с подогревом, термическая обработка соединений и пр.), т.е. значительные затраты труда и времени, считаются ограниченно свариваемыми.

Свариваемость материала является технико-экономическим показателем, который изменяется при изменении требований к сварным соединениям, при разработке новых способов, приемов и новой технологии сварки, т.е. зависит от прогресса сварочной науки и техники. В процессе развития сварочной техники происходит непрерывная переоценка свариваемости, плохо свариваемые материалы переходят в разряд хорошо свариваемых, а некоторые, считавшиеся ранее хорошо свариваемыми материалами, из-за повышения требований к качеству конструкций признаются неудовлетворительно свариваемыми и заменяются новыми.

Существуют разнообразные комплексы испытаний на свариваемость. Их содержание зависит от назначения и условий работы сварных соединений в конструкции. Чаще всего в них определяется чувствительность основного металла и металла шва к термомеханическому воздействию при сварке (склонность к росту зерна, закалке, образованию трещин, склонность к потере металлом антикоррозионных и других специальных свойств). Помимо испытаний специального назначения производятся комплексные (технологические) пробы, имитирующие реальные условия сварки.

Для обеспечения хорошей свариваемости корпусные стали изготавливают малоуглеродистыми (содержание углерода не более 0,23 %). Структура таких сталей (феррито-перлитная) пластична и обеспечивает сварному соединению хорошую работоспособность. Технология сварки сталей с высоким содержанием углерода, используемым в судовом ма-

шиностроении, сложна, при сварке обычно требуется высокий подогрев ($200 \div 350 \text{ }^\circ\text{C}$) и после сварки проведение операции отпуска.

Существует множество ТП сварки (более 70). Сварка является наиболее важным способом получения неразъемных соединений из различных материалов, свариваются металлы и сплавы, керамика, стекло, пластмассы, разнородные материалы. Сварка применяется во всех областях техники.

4.1. Сварка плавлением

4.1.1. Дуговая сварка

Источником теплоты является электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой. Сварочной дугой называется мощный электрический разряд между электродами, находящимися в среде ионизированных газов и паров.

В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие разновидности дуговой сварки (рис. 69):

– сварка неплавящимся графитовым или вольфрамовым электродом *1* (рис. 69, *а*), дугой прямого действия *2*, при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла *3* либо с применением присадочного металла *4*;

– сварка плавящимся электродом (металлическим) *1* дугой прямого действия *2* с одновременным расплавлением основного металла и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом (рис. 69, *б*);

– сварка косвенной дугой *5*, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами, при этом основной металл нагревается и расплавляется теплотой столба дуги (рис. 69, *в*);

– сварка трехфазной дугой, при которой дуга горит между каждым электродом и основным металлом (рис. 69, *г*).

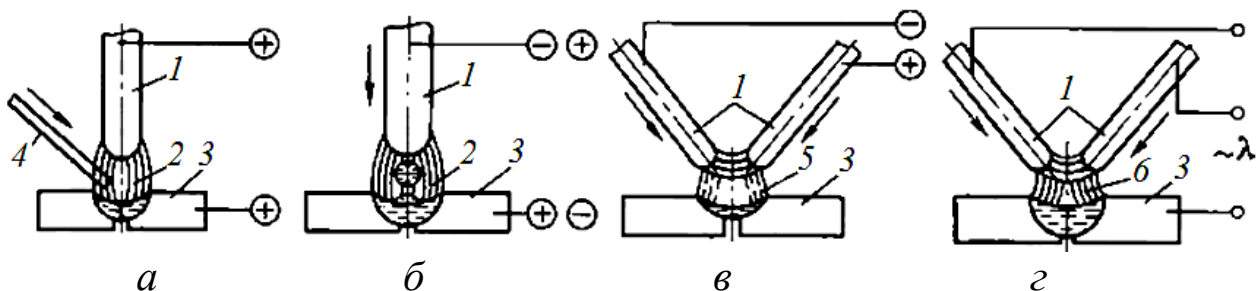


Рис. 69. Схемы дуговой сварки

Разновидности дуговой сварки различают по способу защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса.

Ручная дуговая сварка.

Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые подают вручную в дугу и перемещают вдоль заготовки. В процессе сварки металлическим покрытым электродом (рис. 70) дуга 8 горит между стержнем 7 электрода и основным металлом 1. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в сварочную ванну 9. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 6, образуя защитную газовую атмосферу 5 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 4 на поверхности расплавленного металла. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов 3. Жидкий шлак образует твердую шлаковую корку 2.

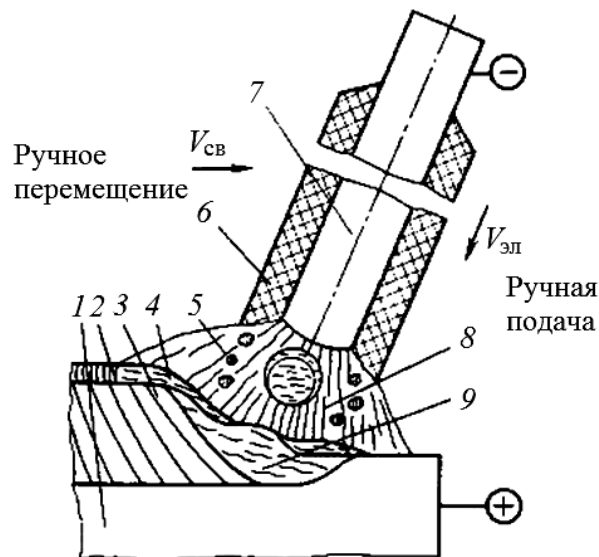


Рис. 70. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом

Ручная сварка позволяет выполнять швы в любых пространственных положениях: нижнем, вертикальном, горизонтальном, вертикальном, потолочном. Ручная сварка удобна при выполнении коротких криволинейных швов в любых пространственных положениях, при выполнении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы.

Оборудование для ручной сварки: источник питания дуги, электрододержатель, гибкие провода, защитная маска или щиток.

Автоматическая дуговая сварка под флюсом (рис. 71).

Для сварки используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха. Подача и перемещение электродной проволоки механизированы. Автоматизированы процессы зажигания дуги и заварки кратера в конце шва.

Дуга 10 горит между проволокой 3 и основным металлом 8 . Столб дуги и металлическая ванна жидкого металла 9 со всех сторон плотно закрыты слоем флюса 5 толщиной $30\div 50$ мм. Часть флюса плавится, и образуется жидкий шлак 4 , защищающий жидкий металл от окружающей среды. Качество защиты лучше, чем при ручной дуговой сварке. По мере поступательного движения электрода металлическая и шлаковая ванны затвердевают с образованием сварного шва 7 , покрытого твердой шлаковой коркой 6 . Проволоку подают в дугу с помощью механизма подачи 2 . Ток к электроду подводят через токопровод 1 .

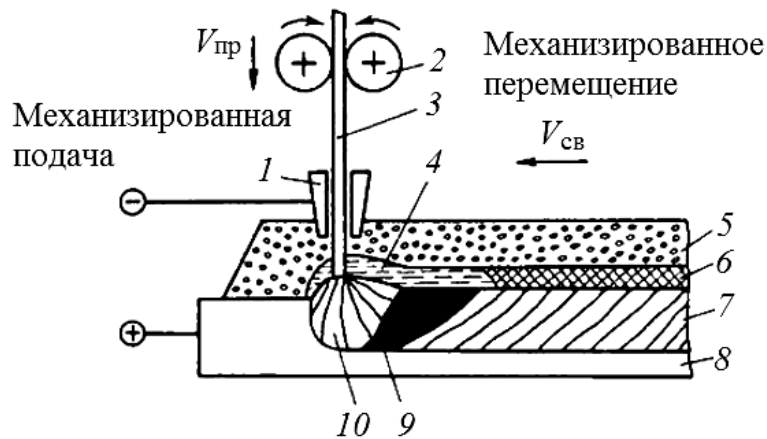


Рис. 71. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом

Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла. Преимущества автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной: повышение производительности процесса сварки в $5\div 20$ раз, повышение качества сварных соединений и уменьшение себестоимости 1 м сварного шва.

Флюсы для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей предназначены для раскисления шва и легирования его марганцем и кремнием. Для этого применяют высококремнистые марганцевые флюсы, которые получают путем сплавления марганцевой руды, кремнезема и плавикового шпата в электропечах.

Флюсы для сварки легированных и высоколегированных сталей должны обеспечивать минимальное окисление легирующих элементов в шве. Для этого применяют керамические низкокремнистые, бескремнистые и фторидные флюсы, которые изготавливают из порошкообразных компонентов путем замеса их на жидком стекле, гранулирования и последующего прокаливания. Основу керамических флюсов составляют мрамор, плавиковый шпат и хлориды щелочно-земельных металлов.

Дуговая сварка в защитных газах.

При сварке в защитном газе электрод или проволока (рис. 72), зона дуги и сварочная ванна защищены струей защитного газа (инертного – аргон, гелий; активного – углекислый газ, азот, водород).

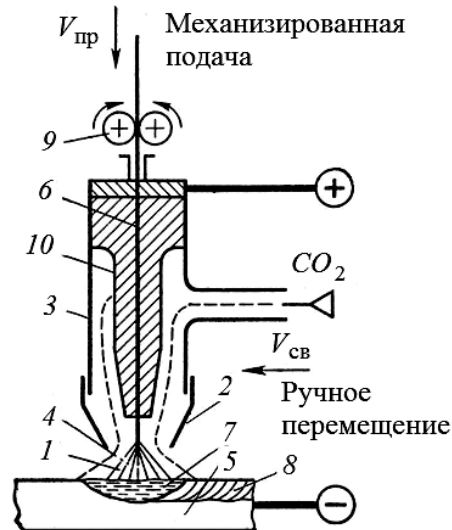


Рис. 72. Схема процесса дуговой сварки в углекислом газе

В зону дуги 1 (см. рис. 72) через сопло 2 горелки 3 подается защитный газ 4. Теплотой дуги расплавляется основной металл 5 и электродная проволока 6. Расплавленный металл сварочной ванны 7, затвердевая, образует шов 8. Проволоку подают в дугу с помощью механизма подачи 9. Ток к электроду поступает через мундштук 10.

При сварке в инертных газах используют в качестве неплавящегося электрода прутки из вольфрама, а в качестве плавящегося – проволоку из основного металла или близкого ему по химическому составу. Область применения аргонодуговой сварки охватывает широкий круг материалов и изделий (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов). Аргонодуговую сварку применяют для легированных и высоколегированных сталей, цветных (алюминия, магния, меди) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и их сплавов.

Сварка в углекислом газе выполняется только плавящимся электродом. Защита сварочной ванны осуществляется углекислым газом. Углекислый газ химически активен по отношению к жидкому металлу. При нагреве он диссоциирует на оксид углерода и кислород, который окисляет железо и легирующие элементы. Окисляющее действие кислорода нейтрализуется введением в проволоку дополнительного количества раскислителей. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей применяют сварочную проволоку с повышенным содержа-

нием кремния и марганца. Хорошее качество сварного шва получается при использовании специальной порошковой проволоки.

Обычно свариваются конструкции из углеродистых и низколегированных сталей (газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т.п.). При сварке меди, алюминия, титана и редких металлов невозможно связать свободный кислород введением раскислителей.

Преимуществами данного способа являются низкая стоимость углекислого газа и высокая производительность.

Основной недостаток – разбрызгивание металла (на зачистку расходуется 30÷40 % времени сварки).

4.1.2. Плазменная сварка

Плазменная струя, применяемая для сварки, представляет собой направленный поток частиц или полностью ионизированного газа, имеющего температуру 1000÷2000 °С (рис. 73). Плазму получают в плазменных горелках, пропуская газ через столб сжатой дуги. В качестве плазмообразующих газов применяют азот, аргон, водород, гелий, воздух и их смеси.

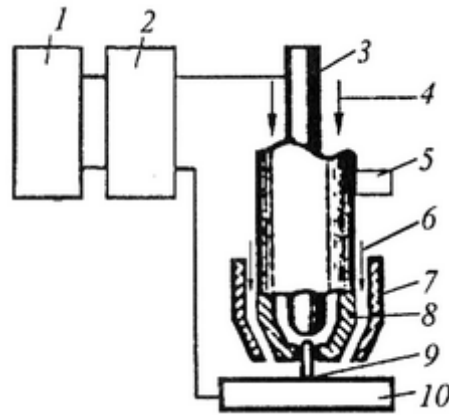


Рис. 73. Схема сварки плазменной дугой:

- 1 – сварочный источник питания; 2 – высокочастотный генератор;
 3 – вольфрамовый электрод; 4 – плазмообразующий газ;
 5 – охлаждающая вода; 6 – защитный газ; 7 – сопло защитного газа;
 8 – сопло, формирующее дугу; 9 – дуга; 10 – изделие

Применяют два основных плазменных источника нагрева: *плазменную струю*, выделенную из столба косвенной дуги, и *плазменную дугу*, в которой дуга прямого действия совмещена с плазменной струей.

Плазменная струя представляет собой независимый источник теплоты, позволяющий в широких пределах изменять степень нагрева и глубину проплавления поверхности заготовок. Тепловая

мощность плазменной струи ограничена, и ее применяют для сварки и резки тонких металлических листов и неэлектропроводящих материалов, для напыления тугоплавких материалов.

Плазменная дуга обладает большой тепловой мощностью, имеет более широкое применение: для сварки высоколегированной стали, сплавов титана, никеля, молибдена, вольфрама. Плазменную дугу применяют для резки материалов (меди, алюминия), наплавки тугоплавких материалов на поверхность.

Плазменной дугой можно сваривать металл толщиной до 10 мм без разделки кромок и применения присадочного материала. Плазменная дуга обладает высокой стабильностью, что обеспечивает повышенное качество сварных швов. Это позволяет выполнять микроплазменную сварку металла толщиной $0,025 \div 0,80$ мм. Недостаток плазменной сварки – недолговечность горелок.

4.1.3. Электрошлаковая сварка

Сущность процесса заключается в том, что тепловую энергию, необходимую для расплавления основного и присадочного металла, дает теплота, выделяемая в объеме шлаковой ванны при прохождении через нее тока (рис. 74).

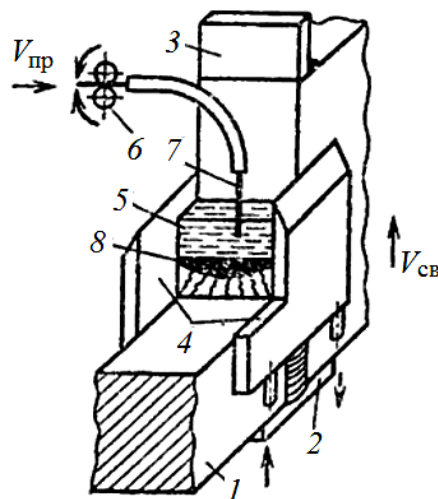


Рис. 74. Схема электрошлаковой сварки

Свариваемые заготовки 1 (см. рис. 74) устанавливают в вертикальном положении. В замкнутое пространство между водоохлаждаемыми медными ползунами 4 и вертикально установленными кромками изделий засыпают флюс и подают электродную проволоку 7 при помощи специального механизма подачи 6. В начале процесса возбуждают дугу, флюс плавится и образуется электропроводный шлак 5. Шлак шунтирует дугу, она гаснет, выходная цепь источника

питания замыкается через шлак. Ток, проходя через шлак, разогревает его, что приводит к расплавлению кромок основного металла и электрода. Расплав стекает вниз и образует сварочную ванну δ , выжимая шлак вверх, и затвердевает.

В начальном и конечном участках шва образуются дефекты: в начале шва – непровар кромок, в конце шва – усадочная раковина и неметаллические включения. Поэтому сварку начинают и заканчивают на специальных планках 2 и 3, которые затем удаляют газовой резкой.

Преимущества: возможна сварка металла любой толщины (с 16 мм до 2 м). Заготовки с толщиной до 150 мм можно сваривать одним электродом, совершающим поперечное колебание в плоскости стыка, при толщине более 150 мм используются нескольких проволок.

Недостаток способа – образование крупного зерна в шве и околошовной зоне вследствие замедленного нагрева и охлаждения. Необходимо проведение термической обработки: нормализации или отжига для измельчения зерна.

Электрошлаковую сварку широко применяют в тяжелом машиностроении для изготовления ковано-сварных и лито-сварных конструкций, станины и детали мощных прессов и станков, коленчатые валы судовых дизелей, роторы и валы гидротурбин, котлы высокого давления и т.п.

4.1.4. Лучевые способы сварки

Электронно-лучевая сварка.

Сущность процесса состоит в том, что свариваемые детали, собранные без зазора, помещают в вакуумную камеру и подают на них электродный луч – пучок электронов, движущихся с большой скоростью. При соударении с изделием электроны тормозятся, их кинетическая энергия переходит в тепловую энергию и расплавляет металл. Температура в месте соударения достигает $5000\div 6000$ °С. Перемещая электронный луч вдоль стыка, получают сварной шов.

Электроны (рис. 75), испускаемые катодом 1 электронной пушки, формируются в пучок электродом 2, расположенным непосредственно за катодом, ускоряются под действием разности потенциалов между катодом и анодом 3, составляющей $20\div 150$ кВ и выше, затем фокусируются в виде луча и направляются специальной отклоняющей магнитной системой 5 на обрабатываемое изделие 6. На форми-

рующий электрод 2 подается отрицательный или нулевой по отношению к катоду потенциал. Фокусировкой достигается высокая удельная мощность луча. Ток электронного луча невелик – от нескольких миллиампер до единиц ампер.

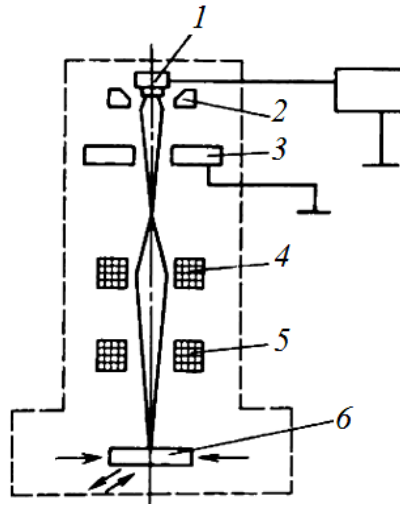


Рис. 75. Схема установки для электронно-лучевой сварки

Процессу электронно-лучевой сварки присущи две характерные особенности:

- сварка протекает в вакууме, обеспечивается получение зеркально чистой поверхности и дегазация расплавленного металла;
- интенсивность нагрева очень велика, что обеспечивает быстрое плавление и затвердевание металла. Шов получается мелкозернистый с высокими механическими свойствами, с минимальной шириной, что позволяет сваривать сплавы, чувствительные к нагреву.

Электронно-лучевой сваркой изготавливают детали из тугоплавких, химически активных металлов и их сплавов (вольфрамовых, танталовых, молибденовых, ниобиевых, циркониевых), а также алюминиевых и титановых сплавов и высоколегированных сталей. Металлы и сплавы можно сваривать в однородных и разнородных сочетаниях, со значительной разностью толщин, температур плавления. Минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм, максимальная – до 100 мм.

Лазерная сварка.

Лазерная сварка – способ сварки плавлением, при котором металл нагревают излучением лазера. Лазерный луч представляет собой вынужденное монохроматическое излучение, длина волны которого зависит от природы рабочего тела лазера-излучателя. Оно возникает в результате вынужденных скачкообразных переходов возбужденных атомов рабочих тел на более низкие энергетические уровни.

Основными параметрами режимов лазерной обработки являются мощность излучения, диаметр пятна фокусировки, скорость перемещения обрабатываемого материала относительно луча.

Преимуществом лазерной сварки является быстрый точечный нагрев металла до плавления. Интенсивный сосредоточенный нагрев создает большую скорость охлаждения после прекращения воздействия луча. Это позволяет свести к минимуму ширину околошовной зоны, сварочные напряжения и деформации.

Механизм процессов при лазерной сварке схож с электронно-лучевой сваркой, но не обязательно вакуумировать изделие.

Лазером сваривают преимущественно толщины до 1 мм, так как коэффициент полезного действия преобразования энергии в лазерное излучение довольно низкий.

4.1.5. Газовая сварка

При газовой сварке заготовки 1 и присадочный материал 2 в виде прутка или проволоки расплавляют высокотемпературным пламенем 4 газовой горелки 3 (рис. 76).

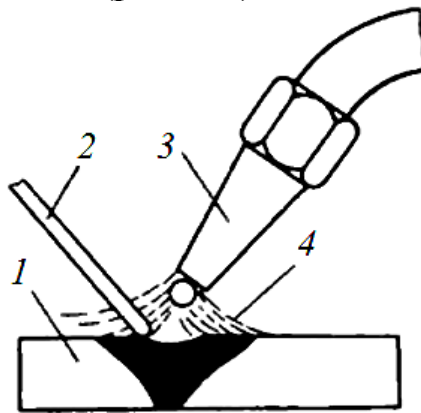


Рис. 76. Схема газовой сварки

Газовое пламя получают при сгорании горючего газа в атмосфере технически чистого кислорода. Мощность пламени регулируют сменой наконечников горелки.

Нагрев заготовки осуществляется более плавно, чем при дуговой сварке, поэтому газовую сварку применяют: для сварки металла малой толщины (0,2÷3,0 мм); легкоплавких цветных металлов и сплавов; металлов и сплавов, требующих постепенного нагрева и охлаждения (инструментальные стали, латуни); для подварки дефектов в чугунных и бронзовых отливках. При увеличении толщины металла снижается производительность и увеличивается деформация.

4.2. Сварка давлением

Сущность получения неразъемного сварного соединения двух заготовок в твердом состоянии состоит в сближении идеально чистых соединяемых поверхностей на расстояния $(2\div 4)\cdot 10^{-10}$ см, при которых возникают межатомные силы притяжения.

Необходимым условием получения качественного соединения в твердом состоянии являются хорошая очистка и подготовка поверхностей и наличие сдвиговых пластичных деформаций в зоне соединения в момент сварки.

4.2.1. Контактная сварка

Сварные соединения получают в результате нагрева деталей проходящим через них током и последующей пластической деформации зоны соединения.

Сварка осуществляется на машинах, состоящих из источника тока, прерывателя тока и механизмов зажатия заготовок и давления.

К деталям с помощью электродов подводят ток небольшого напряжения ($3\div 8$ В) и большой силы (до нескольких десятков кА). Большая часть тепла выделяется в зоне контакта деталей.

По виду получаемого соединения контактную сварку подразделяют на точечную, шовную, стыковую. Схемы контактной сварки представлены на рис. 77.

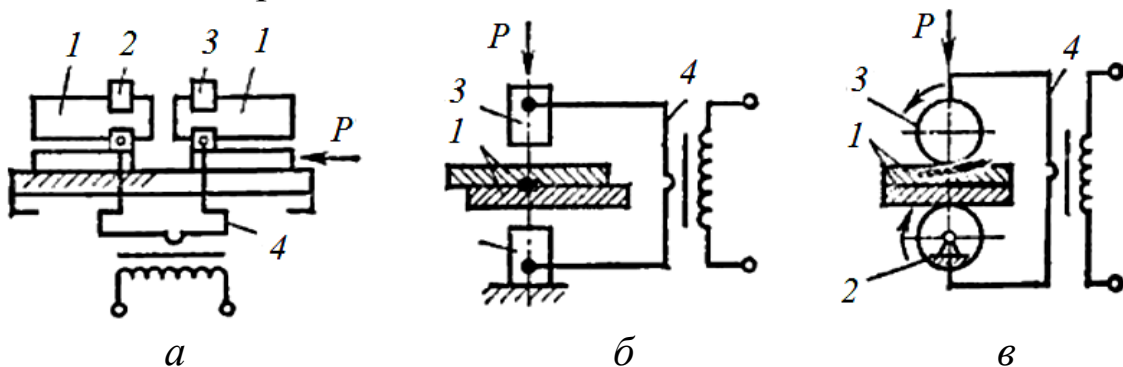


Рис. 77. Схемы контактной сварки:
а – стыковой; б – точечной; в – шовной

Стыковая контактная сварка (рис. 77, а) – способ соединения деталей по всей плоскости их касания. Свариваемые заготовки 1 плотно зажимают в неподвижном 2 и подвижном 3 токоподводах, подключенных к вторичной обмотке сварочного трансформатора 4. Для обеспечения плотного электрического контакта свариваемые поверхности

приводят в соприкосновение и сжимают. Затем включается ток. Поверхность контакта заготовок разогревается до требуемой температуры, ток отключается, производится сдавливание заготовок – осадка.

Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют *сваркой сопротивлением*, а при разогреве торцов до оплавления с последующей осадкой – *сваркой оплавлением*. В результате пластической деформации и быстрой рекристаллизации в зоне образуются рекристаллизованные зерна из материала обеих деталей.

Сварка применяется для соединения встык деталей типа стержней, толстостенных труб, рельсов и т.п.

Точечная сварка (рис. 77, б) – способ изготовления листовых или стержневых конструкций, позволяющий получить прочные соединения в отдельных точках. Свариваемые заготовки 1, собранные внахлест, зажимают между неподвижным 2 и подвижным 3 электродами, подсоединенными к обмотке трансформатора 4.

Электроды изнутри охлаждаются водой, нагрев локализуется на участках соприкосновения деталей между электродами. Получают линзу расплава требуемого размера, ток выключают, расплав затвердевает, образуется сварная точка. Электроды сжимают детали, пластически деформируя их.

Образующееся сварное соединение обладает большой прочностью, и его можно применять для изготовления несущих конструкций. Этот способ широко применяют в авто- и вагоностроении, строительстве, а также при сборке электрических схем.

Шовная сварка (рис. 77, в) – способ соединения деталей швом, состоящим из отдельных сварных точек. Свариваемые заготовки 1 помещают между двумя роликами-электродами, один из электродов 2 может иметь вращательное движение, а другой 3 – вращательное движение и перемещение в вертикальном направлении. Электроды подключаются к вторичной обмотке трансформатора 4. Электроды-ролики зажимают и передвигают деталь.

Шовная сварка обеспечивает получение прочных и герметичных соединений их листового материала толщиной до 5 мм.

4.2.2. Диффузионная сварка

Диффузионная сварка – способ сварки давлением в вакууме приложением сдавливающих сил при повышенной температуре (рис. 78).

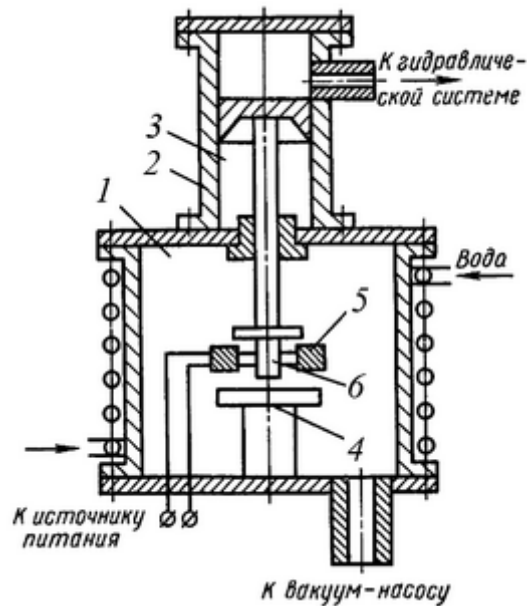


Рис. 78. Принципиальная схема установки для диффузионной сварки в вакууме:

1 – вакуумная камера; 2 – цилиндр гидропривода; 3 – поршень; 4 – стол для крепления деталей; 5 – индуктор; 6 – свариваемые детали

Сварку производят в специальных сварочных установках (см. рис. 78). Свариваемые детали тщательно зачищают, сжимают, нагревают в вакууме специальным источником тепла до температуры рекристаллизации ($0,4 \cdot T_{пл}$) и длительно выдерживают. В начальной стадии процесса создаются условия для образования металлических связей между соединяемыми поверхностями. Низкое давление способствует удалению поверхностных пленок, а высокая температура и давление приводят к уменьшению неровностей поверхностей и сближению их до нужного расстояния. Затем протекают процессы диффузии в металле, образуются промежуточные слои, увеличивающие прочность соединения. Соединения получают при небольшой пластической деформации. Изменение размеров мало.

Источником нагрева служит высокочастотный генератор, сжимающее усилие обеспечивается гидросистемой. После сварки детали охлаждаются в вакуумной камере до комнатной температуры. При этом способе сварки образование соединения зависит от температуры, давления и времени выдержки. Сварка может осуществляться в среде инертных и защитных газов: гелий, аргон, водород. Способ применяется для соединения металлов, металлов и полупроводников, а также других неметаллических материалов. Диффузионная сварка широко применяется в космической технике, в электротехнической, радиотехнической и других отраслях промышленности.

4.2.3. Сварка трением

Сварка трением – способ сварки давлением при воздействии теплоты, возникающей при трении свариваемых поверхностей.

Свариваемые заготовки (рис. 79) устанавливают соосно в зажимах машины, один из которых неподвижен, а другой может совершать вращательное и поступательное движения. Заготовки сжимаются осевым усилием, и включается механизм вращения. При достижении температуры $980 \div 1300 \text{ }^\circ\text{C}$ вращение заготовок прекращают при продолжении сжатия.

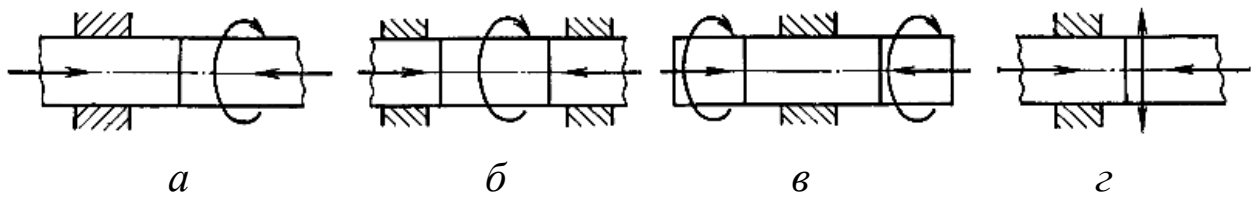


Рис. 79. Разновидности процесса сварки трением:

а – сварка с помощью вращения одной заготовки; *б* – сварка с помощью вращения третьего тела; *в* – одновременная сварка трех деталей на машине с двумя шпинделями; *г* – вибрационная сварка

Иногда сварку трением производят через промежуточный вращаемый элемент или заменяют вращательное движение вибрацией (рис. 79, г). Сваркой трением можно сваривать заготовки диаметром $0,75 \div 140 \text{ мм}$.

Преимущества способа: простота, высокая производительность, малая энергоемкость, стабильность качества соединения, возможность сварки заготовок из разнородных материалов. Сварка осуществляется на специальных машинах.

4.2.4. Сварка взрывом

Большинство технологических схем сварки основано на использовании направленного (кумулятивного) взрыва (рис. 80). Соединяемые поверхности двух заготовок 4 и 3, в частности пластин, одна из которых неподвижна и служит основанием, располагают под углом ее друг к другу на расстоянии h_0 . На заготовку 3 укладывают взрывчатое вещество 2 толщиной H , а со стороны, находящейся над вершиной угла, устанавливают детонатор 1. Сваривают на жесткой опоре. Давление, возникающее при взрыве, сообщает импульс расположенной под зарядом пластине. Детонация взрывчатого вещества с выделени-

ем газов и теплоты происходит с большой скоростью (несколько тысяч метров в секунду).

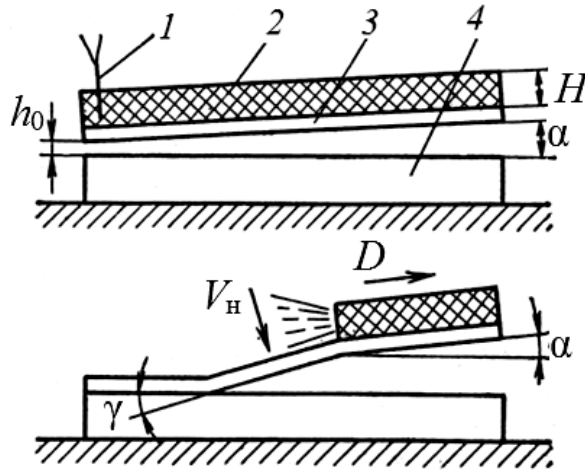


Рис. 80. Схема сварки взрывом

В месте соударения метаемой пластины с основанием образуется угол γ , который перемещается вдоль соединяемых поверхностей. При соударении из вершины угла выдуваются тонкие поверхностные слои, оксидные пленки и другие загрязнения. Соударение пластин вызывает течение металла в их поверхностных слоях. Поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил взаимодействия, и происходит схватывание по всей площади соединения. Продолжительность сварки взрывом не превышает нескольких микросекунд. Этого времени недостаточно для протекания диффузионных процессов, сварные соединения не образуют промежуточных соединений между разнородными металлами и сплавами.

Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов.

Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок для проката биметалла, плакировке поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами со специальными свойствами, при сварке заготовок из разнородных материалов. Целесообразно сочетание сварки взрывом со штамповкой и ковкой.

4.2.5. Ультразвуковая сварка

Ультразвуковая сварка относится к процессам, в которых используют давление, нагрев и взаимное трение свариваемых поверхностей. Силы трения возникают в результате действия на заготовки, сжатые осевой силой P , механических колебаний с ультразвуковой частотой. Для получения механических колебаний высокой частоты

используют магнитострикционный эффект, основанный на изменении размеров некоторых материалов под действием переменного магнитного поля. Изменения размеров магнитострикционных материалов очень незначительны, поэтому для увеличения амплитуды и концентрации энергии колебаний и для передачи механических колебаний к месту сварки используют волноводы, в большинстве случаев сужающейся формы.

При ультразвуковой сварке (рис. 81) свариваемые заготовки 5 размещают на опоре 6. Наконечник 4 рабочего инструмента 3 соединен с магнитострикционным преобразователем 1 через трансформатор 2 продольных упругих колебаний, представляющих собой вместе с рабочим инструментом волновод. Нормальная сжимающая сила P создается моментом M в узле колебаний. В результате ультразвуковых колебаний в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются сдвиговые деформации, имеющие поверхностные пленки.

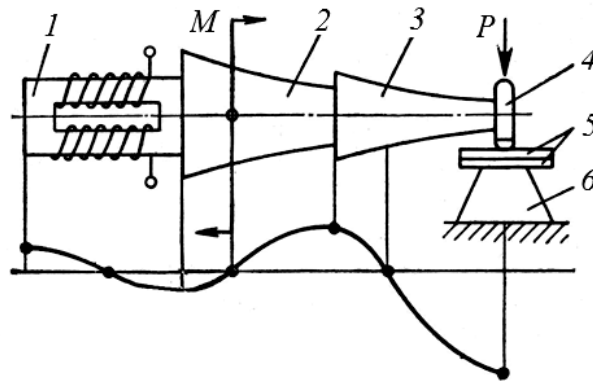


Рис. 81. Схема ультразвуковой сварки

Ультразвуковой сваркой можно получать точечные и шовные соединения внахлестку, а также соединения по замкнутому контуру.

Ультразвуковую сварку применяют в приборостроении, радиоэлектронике, авиационной промышленности и других отраслях.

4.3. Тип сварного соединения

Тип сварного соединения определяют взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их кромок под сварку. В зависимости от расположения соединяемых деталей различают четыре основных типа сварных соединений: стыковые, нахлесточные, угловые и тавровые (рис. 82).

Кромки разделяют в целях полного провара заготовок по сечению, что является одним из условий равнопрочности сварного соединения с основным металлом.

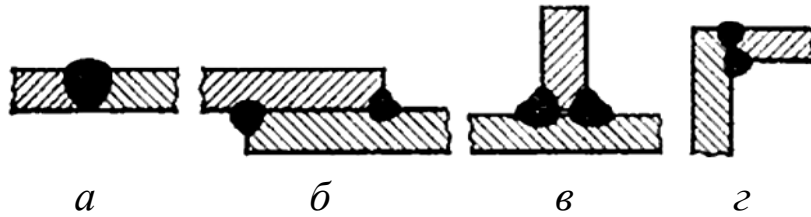


Рис. 82. Основные типы сварных соединений:

a – стыковое; *б* – нахлесточное; *в* – тавровое; *г* – угловое

Формы подготовки кромок под сварку бывают *V*-, *U*-, *X*-образные, которые показаны на рис. 83.

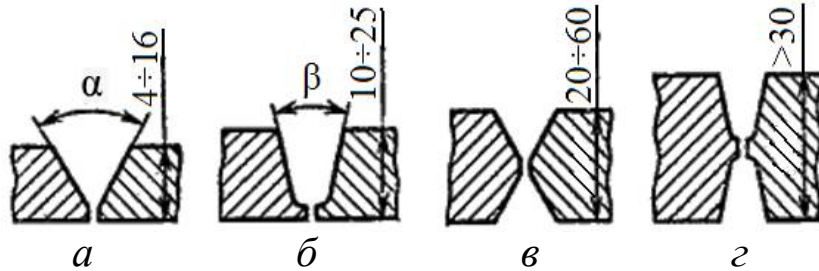


Рис. 83. Формы подготовки кромок под сварку:

a – *V*-образная; *б* – *U*-образная; *в* – *X*-образная;
г – двусторонняя *U*-образная

По характеру выполнения сварные швы бывают односторонними и двухсторонними, стыковыми (рис. 83, *a*) и угловыми (рис. 83, *б*, *в*, *г*).

4.4. Специальные термические процессы в сварочном производстве

Наплавка – процесс нанесения слоя металла или сплава на поверхность изделия.

Наплавка позволяет получать детали с поверхностью, отличающейся от основного металла, например жаростойкостью и жаропрочностью, высокой износостойкостью при нормальных и повышенных температурах, коррозионной стойкостью и т.п. Наплавка может производиться как при изготовлении новых деталей, так и в ремонтно-восстановительных работах, существенно увеличивая срок эксплуатации деталей и узлов, обеспечивая этим высокий экономический эффект.

Существуют разнообразные способы наплавки.

1. Ручная дуговая наплавка электродами со стержнями и покрытиями специальных составов.

2. Автоматическая наплавка под флюсом. Электроды могут быть сплошного сечения и порошковые. Состав флюса, металл электрода и состав наполнителя определяют свойства наплавленного слоя.

3. Наплавка плавящимися и неплавящимися электродами в среде защитных газов. Свойства наплавленного слоя зависят от материала присадки или электрода.

4. Плазменная наплавка. Дуга может быть как прямого, так и косвенного действия. Можно плазменной струей оплавливать слой легированного порошка, предварительно нанесенный на поверхность детали.

5. Электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная наплавка, а также наплавка газокислородным пламенем.

Существенным показателем эффективности того или иного способа наплавки является степень перемешивания при наплавке основного металла и присадочного: чем она меньше, тем ближе будут свойства наплавленного слоя к заданным.

Напыление. При напылении расплавленные по всему объему или по поверхности частицы материала будущего покрытия направляются на поверхность нагретой заготовки. При соударении с поверхностью частица деформируется, обеспечивая хороший физический контакт с деталью. Характер взаимодействия частицы с материалом подложки, последующая кристаллизация частиц определяют качество адгезии покрытия с подложкой. Последующие слои формируются уже за счет связей частиц друг с другом, имеют чешуйчатое строение и существенно неоднородны.

По мере повышения стоимости объемного легирования и стремления получить требуемые эксплуатационные свойства более экономичным способом (легированием поверхности) является напыление.

Для напыления используют источники тепла: газовое пламя, плазму, ионный нагрев, нагрев в печах, лазер и др.

Наибольшее распространение получили процессы газопламенного и плазменного напыления. Материал для напыления подается в пламя горелки или плазменную дугу в виде проволоки или порошка, где происходит нагрев и распыление частиц, которые тепловым потоком источника нагрева разгоняются и попадают на поверхность напыляемой детали. Иной способ формирования покрытий при нагреве в печах. В этом случае нагретая деталь контактирует с материалом покрытия, находящимся в виде порошка или газовой фазы. Получаемое таким методом покрытие имеет высокую адгезию к поверхности детали за счет активных диффузионных процессов, происходящих в период длительной выдержки в печи при высокой температуре.

Все большее распространение получают ионно-плазменные методы напыления износостойких и декоративных покрытий.

Пайка – процесс получения неразъемного соединения заготовок без их расплавления путем смачивания поверхностей жидким припоем с последующей его кристаллизацией. Расплавленный припой затекает в специально создаваемые зазоры между деталями и диффундирует в металл этих деталей. Протекает процесс взаимного растворения металла деталей и припоя, в результате чего образуется сплав, более прочный, чем припой.

Образование соединения без расплавления основного металла обеспечивает возможность распая соединения.

Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность и др.) зависят от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, типа соединения.

Припой должен хорошо растворять основной металл, обладать смачивающей способностью, быть дешевым и недефицитным. Припои представляют собой сплавы цветных металлов сложного состава. По температуре плавления припои подразделяют: на особо легкоплавкие (температура плавления ниже 145 °С), легкоплавкие (145÷450 °С), среднеплавкие (450÷1100 °С) и тугоплавкие (выше 1050 °С). К особо легкоплавким и легкоплавким припоям относятся оловянно-свинцовые, на основе висмута, индия, олова, цинка, свинца. К среднеплавким и тугоплавким относятся припои медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной). Припои изготавливают в виде прутков, листов, проволок, полос, спиралей, дисков, колец, зерен, которые укладывают в место соединения.

При пайке применяются флюсы для защиты места спая от окисления при нагреве сборочной единицы, обеспечения лучшей смачиваемости места спая расплавленным металлом и растворения металлических окислов. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. Флюсы могут быть твердые, пастообразные и жидкие. Для пайки наиболее применимы флюсы: бура, плавиковый шпат, борная кислота, канифоль, хлористый цинк, фтористый калий.

Пайку точных соединений производят без флюсов в защитной атмосфере или в вакууме. В зависимости от способа нагрева различают пайку газовую, погружением (в металлическую или соляную ванну), электрическую (дуговая, индукционная, контактная), ультразвуковую.

В единичном и мелкосерийном производстве применяют пайку с местным нагревом посредством паяльника или газовой горелки.

В крупносерийном и массовом производстве применяют нагрев в ваннах и газовых печах, электронагрев, импульсные паяльники, индукционный нагрев, нагрев токами высокой частоты.

Перспективным направлением развития технологии пайки металлических и неметаллических материалов является использование ультразвука. Генератор ультразвуковой частоты и паяльник с ультразвуковым магнитострикционным вибратором применяются для бесфлюсовой пайки на воздухе и пайке алюминия. Оксидная пленка разрушается за счет колебаний ультразвуковой частоты.

Процесс пайки включает: подготовку сопрягаемых поверхностей деталей под пайку, сборку, нанесение флюса и припоя, нагрев места спая, промывку и зачистку шва. Детали для пайки тщательно подготавливаются, их зачищают, промывают, обезжиривают.

Зазор между сопрягаемыми поверхностями обеспечивает диффузионный обмен припоя с металлом детали и прочность соединения. Зазор должен быть одинаков по всему сечению.

Припой должен быть зафиксирован относительно места спая. Припой закладывают в месте спая в виде фольговых прокладок, проволочных контуров, лент, дроби, паст вместе с флюсом или наносят в расплавленном виде. При автоматизированной пайке – в виде пасты с помощью шприц-установок.

При возможности предусматриваются средства механизации – полуавтоматы и автоматы для газовой, электрической пайки.

Паяные соединения контролируют по параметрам режимов пайки, внешним осмотром, проверкой на прочность или герметичность, методами дефекто- и рентгеноскопии.

4.5. Дефекты сварных соединений

Эксплуатационная надежность и экономичность сварных конструкций в значительной мере определяются качеством сварных соединений. Наличие в них дефектов может привести к снижению эксплуатационных характеристик конструкций: нарушение требуемой герметичности, понижение усталостной и статической прочности и т.д.

Дефекты сварных соединений в зависимости от места расположения и вида подразделяются на наружные и внутренние.

Наружными дефектами сварных соединений являются дефекты формы шва, неравномерность сечения швов по их длине и вогнутость корня шва, смещение продольной оси шва от заданного положения и незаваренные кратеры от предыдущего валика, наплывы металла

шва и подрезы зоны сплавления. Наружные дефекты выявляются внешним осмотром и специальными методами. Внешним осмотром определяют качество подготовки и сборки деталей под сварку (смещение кромок листов, размеры зазора). Параметры швов измеряют с помощью шаблонов, поверхность шва оценивают путем сравнения с эталонами, для выявления дефектов пользуются лупой.

Такие наружные дефекты, как микротрещины, поры, могут быть обнаружены с помощью капиллярной дефектоскопии. Этот метод используют для контроля соединений из жаропрочных и специальных сплавов, теплоустойчивых сталей.

Правила ограничивают допустимые размеры наружных дефектов. Так, например, не допускаются поры размерами более 0,1 толщины листа или 0,1 катета углового шва, но не более 2 мм; подрезы основного металла более 0,5 мм и длиной более 15 мм при суммарной протяженности подрезов не более 10 % длины шва.

В паяных соединениях внешними дефектами являются наплывы и натеки припоя, неполное заполнение шва припоем; внутренними – поры, включения флюса, трещины и др.

Внутренними дефектами являются газовые включения (поры), твердые включения (шлак, инородный металл), несплавления (в том числе и межваликовые при многослойной сварке), внутренние трещины различного рода.

Причинами возникновения внутренних дефектов служат физико-химические явления, протекающие в процессе образования сварного соединения. Ими вызываются трещины горячие (кристаллизационные и подсолидусные) и холодные, поры, несплавление. Причинами могут служить нарушения режима сварки, неправильная техника ее выполнения (непровары, подрезы, кратеры, прожоги и т.п.).

Внутренние дефекты обнаруживаются с помощью различных физических методов контроля (радиографический, радиоскопический, радиометрический и ультразвуковой методы).

Качество сварных и паяных соединений обеспечивают предварительным контролем материалов и заготовок, текущим контролем за процессом сварки и пайки и приемочным контролем готовых сварных или паяных соединений. В зависимости от нарушения целостности сварного соединения при контроле различают разрушающие и неразрушающие методы контроля.

5. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Механическая обработка поверхностей заготовок является одной из основных завершающих стадий изготовления деталей машин.

Одна из актуальных задач машиностроения – дальнейшее развитие, совершенствование и разработка новых технологических методов обработки заготовок деталей машин, применение новых конструкционных материалов и повышение качества обработки деталей машин.

Наряду с обработкой резанием применяют методы обработки пластическим деформированием, с использованием химической, электрической, световой, лучевой и других видов энергии.

5.1. Классификация движений в металлорежущих станках

Обработка металлов резанием – процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаимного расположения и шероховатости поверхностей детали.

В процессе резания на заготовке различают поверхности (рис. 84, а): обрабатываемую поверхность (1); обработанную поверхность (3); поверхность резания (2).

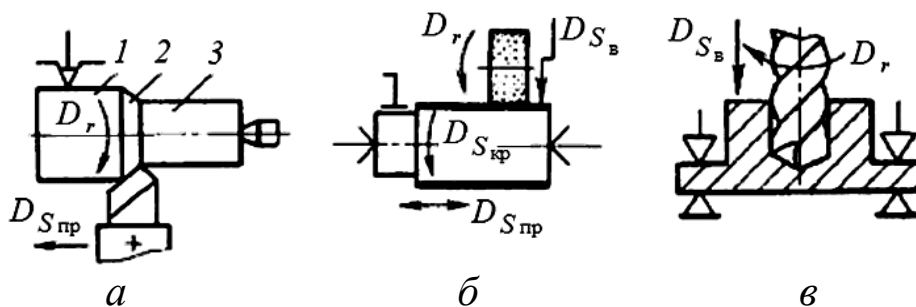


Рис. 84. Схемы обработки заготовок:

а – точением; б – шлифованием на круглошлифовальном станке;
в – сверлением

Чтобы срезать с заготовки слой металла, необходимо режущему инструменту и заготовке сообщать относительные движения. Инструмент и заготовку устанавливают на рабочих органах станков, обеспечивающих движение. Движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя материала или вызывают изменение состояния обработанной поверхности заготовки, называют движениями резания:

– главное движение – это движение резания, которое определяет скорость деформирования материала и отделения стружки (D_r);

– движение подачи – обеспечивает непрерывное врезание режущей кромки инструмента в материал заготовки (D_S).

Движения могут быть непрерывными или прерывистыми, а по характеру – вращательными, поступательными, возвратно-поступательными.

Движения подачи: продольное, поперечное, вертикальное, круговое, окружное, тангенциальное.

Установочные движения – движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее определенного слоя металла.

Вспомогательные движения – транспортирование заготовки, закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов.

5.2. Режимы резания, шероховатость поверхности

При назначении режимов резания определяют скорости главного движения резания и подачи и глубину резания.

Скоростью главного движения – называют отношением пути, пройденного точкой режущей кромки инструмента к единице времени (м/с). Главное движение может совершать инструмент или деталь.

Для вращательного движения:

$$V = \frac{\pi \cdot D_{\text{заг}} \cdot n}{1000 \cdot 60}, \quad (6)$$

где $D_{\text{заг}}$ – максимальный диаметр заготовки (мм); n – частота вращения (мин^{-1}).

Для возвратно-поступательного движения:

$$V = \frac{L \cdot m \cdot (k+1)}{1000 \cdot 60}, \quad (7)$$

где L – расчетная длина хода инструмента (мм); m – число двойных ходов инструмента в минуту; k – коэффициент, показывающий соотношение скоростей рабочего и вспомогательного хода.

Подача S – путь точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один ход заготовки или инструмента.

В зависимости от технологического метода обработки подачу измеряют: мм/об – точение и сверление; мм/дв. ход – строгание и шлифование.

Глубина резания t (мм) – расстояние между обрабатываемой

и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к обработанной поверхности.

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей с относительно малыми шагами.

Шероховатость является характеристикой качества поверхностного слоя заготовки. Она оценивается несколькими параметрами, чаще всего критерием Ra – среднее арифметическое отклонение профиля в пределах определенной базовой длины обработанной поверхности.

Допустимые значения шероховатости поверхностей деталей указываются на чертежах. Значения параметра Ra (мкм) для разных технологических методов обработки лежат в пределах: для предварительной черновой обработки – $100 \div 22,5$; для чистовой обработки – $6,3 \div 0,4$; для отделочной и доводочной обработки – $0,2 \div 0,012$.

5.3. Классификация металлорежущих станков

Металлорежущие станки в зависимости от характера выполняемых работ и типа применяемых режущих инструментов подразделяются на группы.

1. Группа токарных станков состоит из станков, предназначенных для обработки поверхностей вращения. Объединяющим признаком станков этой группы является использование в качестве движения резания вращательного движения заготовки.

2. Группа сверлильных станков включает также и расточные станки. Объединяющим признаком этой группы станков является их назначение – обработка круглых отверстий. Движением резания служит вращательное движение инструмента, которому обычно сообщается также движение подачи. В горизонтально-расточных станках подача может осуществляться также перемещением стола с обрабатываемой деталью.

3. Группа шлифовальных станков объединяется по признаку использования в качестве абразивного режущего инструмента.

4. Группа полировальных и доводочных станков объединяется по признаку использования в качестве режущего инструмента абразивных брусков, абразивных лент, порошков и паст.

5. Группа зубообрабатывающих станков включает все станки, которые служат для обработки зубьев колес, в том числе шлифовальные.

6. Группа фрезерных станков состоит из станков, использую-

щих в качестве режущего инструмента многолезвийные инструменты – фрезы.

7. Группа строгальных станков состоит из станков, у которых общим признаком является использование в качестве движения резания прямолинейного возвратно-поступательного движения резца или обрабатываемой детали.

8. Группа разрезных станков включает все типы станков, предназначенных для разрезки и распиловки катаных материалов (прутки, уголки, швеллеры и т.п.).

9. Группа протяжных станков имеет один общий признак: использование в качестве режущего инструмента специальных многолезвийных инструментов – протяжек.

10. Группа резьбообрабатывающих станков включает все станки (кроме станков токарной группы), предназначенные специально для изготовления резьбы.

11. Группа разных и вспомогательных станков объединяет все станки, которые не относятся ни к одной из перечисленных выше групп.

По назначению различают станки: широкоуниверсальные, универсальные, широкого назначения, специализированные, специальные.

Универсальные станки обрабатывают разнотипным инструментом, различаются по размерам, форме и расположению поверхностей заготовки.

Широкоуниверсальные предназначены для выполнения особо широкого разнообразия работ.

Станки широкого назначения характеризуются однотипностью применяемого инструмента.

Специализированные станки предназначены для обработки однотипных заготовок различных размеров.

Специальные станки предназначены для выполнения определенных видов работ на заготовках одинаковых размеров и конфигурации, которые подразделяются: по массе: легкие (до 1 т), средние (до 10 т), тяжелые (свыше 10 т) и уникальные (свыше 100 т); по степени автоматизации: с ручным управлением, полуавтоматы и автоматы; по компоновке основных рабочих органов: горизонтальные и вертикальные.

В общегосударственной единой системе станки делятся на 10 групп, каждая группа подразделяется на 10 типов и каждый тип – на 10 типоразмеров. В группы объединены станки одинаковые или

схожие по технологическому методу обработки. Типы характеризуют их назначение, степень автоматизации, компоновку.

5.4. Технологические возможности способов резания

5.4.1. Точение

Точение является основным способом обработки поверхностей тел вращения. Процесс резания осуществляется на токарных станках при вращении обрабатываемой заготовки (главное движение) и перемещении резца (движение подачи).

Движение подачи осуществляется: параллельно оси вращения заготовки (продольная); перпендикулярно оси вращения заготовки (поперечная); под углом к оси вращения заготовки (наклонная).

При работе на токарных станках применяют различные режущие инструменты: резцы, сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки, фасонный инструмент и др.

Токарные резцы являются наиболее распространенным инструментом, они применяются для обработки плоскостей, цилиндрических и фасонных поверхностей, нарезания резьбы и т.д. Элементы резца показаны на рис. 85.



Рис. 85. Элементы резца

Резец состоит из головки (рабочей части) и стержня (см. рис. 85), служащего для закрепления резца в резцедержателе. Передней поверхностью резца называют поверхность, по которой сходит стружка. Задними (главной и вспомогательной) называются поверхности, обращенные к обрабатываемой детали. Главная режущая кромка выполняет основную работу резания. Она образуется пересечением передней и главной задней поверхностей резца. Вспомогательная режущая кромка образуется пересечением передней

и вспомогательной задней поверхностей. Вершиной резца является место пересечения главной и вспомогательной режущих кромок.

Для определения углов резца установлены понятия: плоскость резания и основная плоскость. Плоскостью резания называют плоскость, касательную к поверхности резания и проходящую через главную режущую кромку резца (рис. 86). Основной плоскостью называют плоскость, параллельную направлению продольной и поперечной подачи, она совпадает с нижней опорной поверхностью резца.

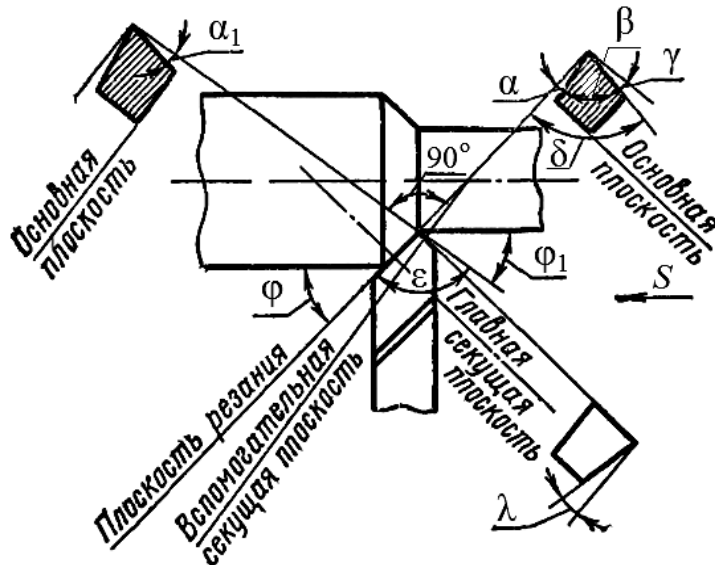


Рис. 86. Углы резца

Углы резца разделяют на главные и вспомогательные (см. рис. 86). В главной секущей плоскости измеряют: главный передний угол γ , главный задний угол α , угол заострения β и угол резания δ . В основной плоскости измеряют: главный угол в плане ϕ , вспомогательный угол в плане ϕ_1 и угол при вершине ϵ .

Главным задним углом α называется угол между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания.

Углом заострения β называется угол между передней и главной задней поверхностями резца.

Главным передним углом γ называется угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания и проходящей через главную режущую кромку резца.

Сумма углов $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$.

Углом резания δ называется угол между передней поверхностью резца и плоскостью резания.

Главным углом в плане ϕ называется угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Вспомогательным углом в плане φ_1 называется угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Углом при вершине в плане ε называется угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость.

Вспомогательным задним углом α_1 называется угол между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

Углом наклона главной режущей кромки λ называется угол между главной режущей кромкой и плоскостью, проходящей через вершину резца параллельно основной плоскости.

Углы резца имеют следующее основное назначение.

1. Главный передний угол γ оказывает большое влияние на процесс резания материала. С увеличением угла γ уменьшается деформация срезаемого слоя, так как инструмент легче врезается в материал, понижается сила резания и расход мощности при одновременном улучшении условий схода стружки и повышения качества обработанной поверхности заготовки. Однако чрезмерное увеличение угла γ ведет к понижению прочности режущего инструмента. На практике величину угла γ берут в зависимости от твердости и прочности обрабатываемого и инструментального материалов. При обработке хрупких и твердых материалов для повышения прочности и увеличения стойкости (времени работы инструмента до переточки) следует назначать угол $\gamma = - (5 \div 10)^\circ$, при обработке мягких и вязких материалов передний угол $\gamma = + (10 \div 25)^\circ$.

2. Угол α способствует уменьшению трения между обрабатываемой поверхностью заготовки и главной задней поверхностью резца. Величина его назначается в пределах от 6 до 12° .

3. Угол φ влияет на шероховатость обработанной поверхности заготовки: с уменьшением угла φ шероховатость уменьшается, однако при малых значениях угла φ возможно возникновение вибраций в процессе резания, что снижает качество обработки.

4. С уменьшением угла φ_1 шероховатость обработанной поверхности уменьшается, одновременно увеличивается прочность и снижается износ вершины резца.

5. Угол наклона главной режущей кромки λ может быть положительным, отрицательным и равным нулю (рис. 87), что влияет на

направление схода стружки. Если вершина резца является высшей точкой главной режущей кромки, то λ отрицателен и стружка сходит в направлении подачи. Если главная режущая кромка параллельна основной плоскости, то $\lambda = 0$ и стружка сходит по оси резца. Если вершина резца является низшей точкой главной режущей кромки, то λ положителен и стружка сходит в направлении обратном подаче. При обработке заготовок на токарных автоматах стружку необходимо отводить так, чтобы она не мешала работе инструментов на соседних позициях.

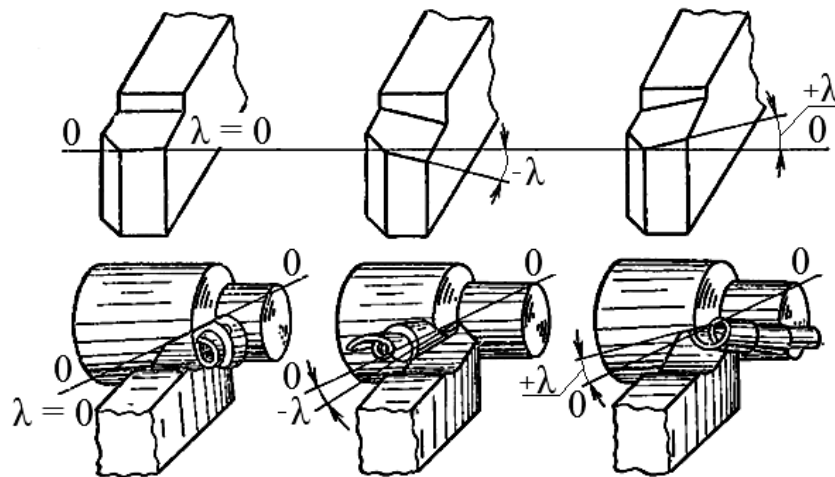


Рис. 87. Углы наклона главной режущей кромки

Форму передней поверхности резца выбирают в зависимости от материала его режущей части, обрабатываемого материала, способа получения обрабатываемой заготовки и характера обработки (табл. 1).

Резцы классифицируются:

1. По направлению подачи – на правые и левые. Правые резцы на токарном станке работают при подаче справа налево, т.е. перемещаются к передней бабке станка, а левые наоборот (рис. 88).

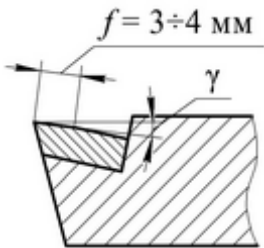
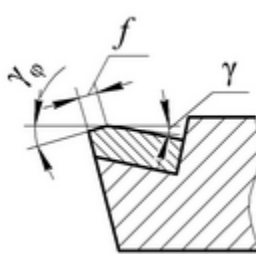
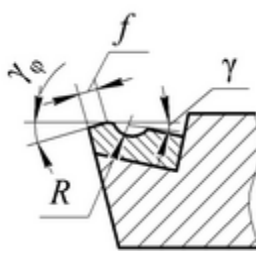
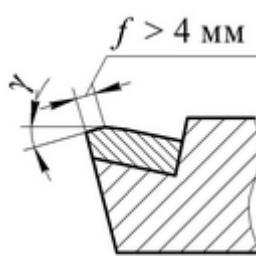
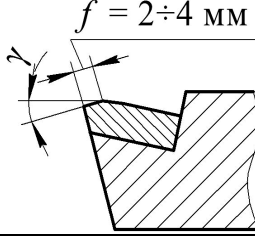
2. По конструкции головки – на прямые, отогнутые и оттянутые (рис. 88).

3. По способу изготовления – на цельные и составные. При использовании дорогостоящих режущих материалов резцы изготавливают составными: головка из инструментального материала, а стержень из конструкционной углеродистой стали. Наибольшее распространение получили составные резцы с пластинами из твердого сплава, которые припаиваются или крепятся механически.

4. По сечению стержня – на прямоугольные, круглые и квадратные.

5. По характеру обработки – черновые, получистовые, чистовые.

Формы передней поверхности резцов

№ формы	Наименование	Вид	Область применения
1	Плоская без фаски		Резцы всех типов для обработки чугуна и медных сплавов
2	Плоская с фаской		Резцы всех типов для обработки стали: – $f = 0,2 \div 0,3$ мм при чистовой обработке; – $f = 0,8 \div 1,0$ мм при черновой обработке, $\gamma = 0^\circ$ для резцов из быстрорежущей стали, $\gamma = -(5 \div 10)^\circ$ для резцов из твердого сплава
3	Радиусная с фаской		Резцы всех типов для обработки стали (f и γ аналогичны форме II): – $R = 3 \div 18$ мм – для быстрорежущей стали; – $R = 2 \div 6$ мм – для твердого сплава
4	Плоская отрицательная		Резцы с пластинками твердого сплава при черновом точении стали с временным сопротивлением $\sigma_{вр} \geq 100$ кгс/мм ² , стального литья с коркой, при точении с ударами
5	Плоская с фаской и опущенной вершиной		Черновое точение стали с крупной стружкой и подачами $\geq 1,5$ мм/об, $\gamma = -(10 \div 15)^\circ$

6. По роду материала – из быстрорежущей стали, твердого сплава и т.д.

7. По виду обработки (по назначению) – на проходные, под-

резные, отрезные, прорезные, расточные, фасонные, резьбонарезные и др. (рис. 89).

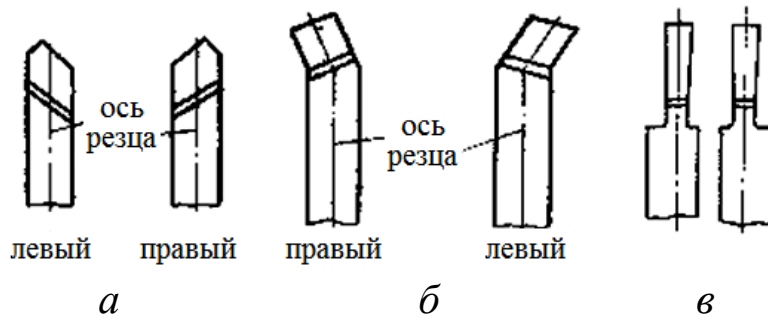


Рис. 88. Резцы: *а* – прямые; *б* – отогнутые; *в* – оттянутые

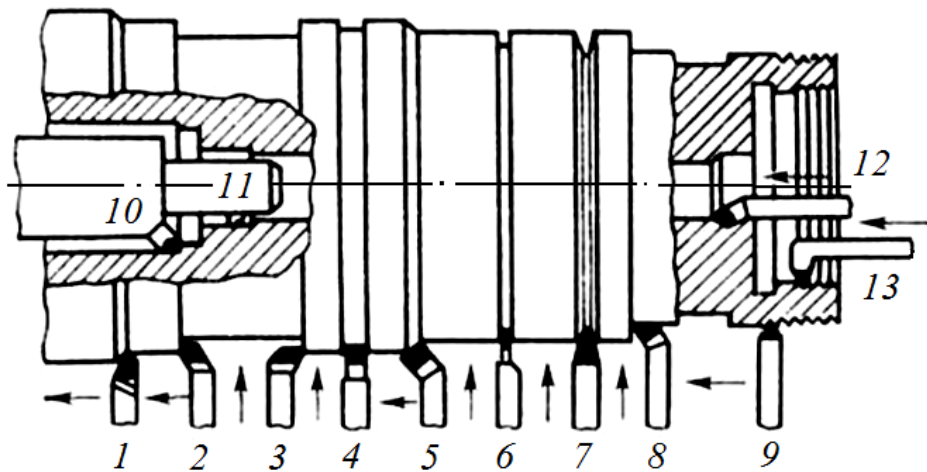


Рис. 89. Токарные резцы для различных видов обработки:
 1 – проходной прямой правый; 2 – проходной упорный правый;
 3 – подрезной левый; 4 – подрезной; 5 – проходной отогнутый правый;
 6 – отрезной; 7 – фасонный; 8 – подрезной правый;
 9 – резьбовой (для наружной резьбы); 10 – расточной упорный
 (в борштанге); 11 – расточной (в борштанге); 12 – расточной;
 13 – расточной для внутренней резьбы

В качестве материала для режущего инструмента наиболее часто используют спеченные твердые сплавы, состоящие из карбидов вольфрама (WC), титана (TiC), тантала (TaC), связанных кобальтом, и которые подразделяются на вольфрамовые (BK3, BK6, BK8, BK2), титановольфрамовые (Т30К4, Т15К6, Т5К10), титанотанталовольфрамовые (ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9). В марках первые буквы обозначают группу, к которой относится сплав; цифры в вольфрамовой группе – количество (процентный объем) кобальта, а остальное карбид вольфрама; первые цифры в титановольфрамовой группе – количество карбида титана, вторые – количество кобальта, а остальное карбид вольфрама. Первые цифры в титанотан-

таловольфрамовой группе – суммарное процентное количество карбидов титана и тантала, вторые – количество кобальта, а остальное карбид вольфрама.

Твердые сплавы используют в виде пластинок определенной формы и размеров, которые получают путем прессования порошков карбидов и кобальта в изделия необходимой формы и последующего спекания при $1250\div 1450$ °С в атмосфере водорода или в вакууме. Твердосплавные пластинки припаивают к стержням резцов медными или латунными припоями или крепят механическим способом. Марку материала твердосплавной пластинки вместе с товарным знаком завода-изготовителя клеймят на боковой поверхности стержня. Теплоустойчивость твердых сплавов $800\div 1000$ °С.

Карбиды вольфрама и титана обеспечивают сплавам высокую твердость, теплоустойчивость и износостойкость, а добавка тантала увеличивает усталостную прочность, снижает склонность к трещинообразованию при циклических изменениях температуры. Кобальт обеспечивает сплавам необходимую прочность и связывает порошки карбидов.

Инструментами из сплавов группы ВК обрабатывают чугуны, цветные металлы, пластмассы, а также закаленные стали. Сплавы ТК имеют высокую износостойкость и теплоустойчивость, и поэтому их применяют для обработки сталей, дающих сливную стружку. Трехкарбидные сплавы применяют при тяжелых условиях резания, например, строгании сталей с большими сечениями срезаемого слоя металла, а также чистовой и получистовой обработке жаропрочных сталей.

По технологическим возможностям точение условно подразделяют: на черновое, получистовое, чистовое, тонкое.

Установка и закрепление заготовок зависят от типа станка, вида обрабатываемой поверхности, характеристики заготовки, точности обработки и других факторов.

5.4.2. Сверление

Сверление является основным способом получения глухих и сквозных цилиндрических отверстий в сплошном материале заготовки. В качестве инструмента при сверлении используется сверло, имеющее две главные режущие кромки. Для сверления используются сверлильные и токарные станки.

На сверлильных станках сверло совершает вращательное (главное) движение и продольное (движение подачи) вдоль оси отверстия, заготовка неподвижна (рис. 90, а).

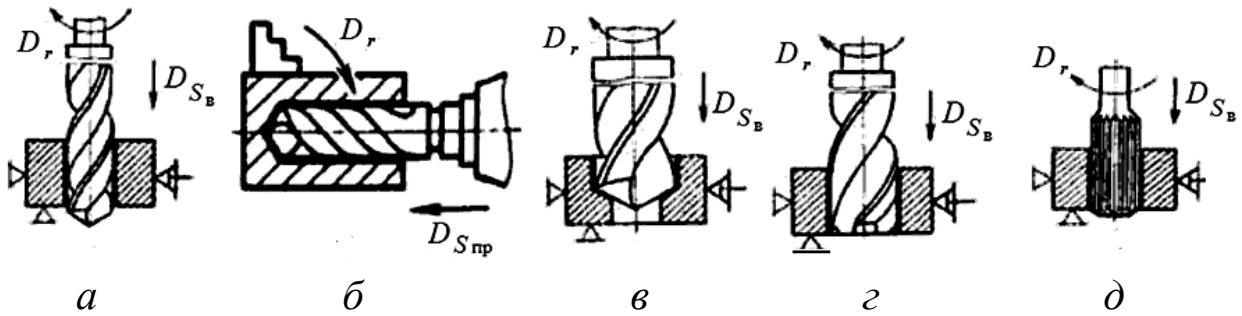


Рис. 90. Схемы сверления, зенкерования и развертывания

При работе на токарных станках вращательное (главное движение) совершает обрабатываемая деталь, а поступательное движение вдоль оси отверстия (движение подачи) совершает сверло (рис. 90, б).

Диаметр просверленного отверстия можно увеличить сверлом большего диаметра. Такие операции называются *рассверливанием* (рис. 90, в).

При сверлении обеспечиваются сравнительно невысокая точность и качество поверхности. Для получения отверстий более высокой точности и чистоты поверхности после сверления на том же станке выполняются зенкерование и развертывание.

Зенкерование – обработка предварительно полученных отверстий для придания им более правильной геометрической формы, повышения точности и снижения шероховатости многолезвийным режущим инструментом – зенкером, который имеет более жесткую рабочую часть и у которого число зубьев не менее трех (рис. 90, г).

Развертывание – окончательная обработка цилиндрического или конического отверстия разверткой в целях получения высокой точности и низкой шероховатости. Развертка – многолезвийный инструмент, срезающий очень тонкие слои с обрабатываемой поверхности (рис. 90, д).

5.4.3. Протягивание

Протягивание является высокопроизводительным методом обработки деталей разнообразных форм, обеспечивающим высокую точность формы и размеров обрабатываемой поверхности. Протягивание применяется в крупносерийном производстве.

При протягивании используется сложный дорогостоящий инструмент – *протяжка*. За каждым формообразующим зубом вдоль протяжки изготавливается ряд зубьев постепенно увеличивающейся высоты.

Процесс резания при протягивании осуществляется на протяжных станках при поступательном главном движении инструмен-

та относительно неподвижной заготовки за один проход.

Движение подачи отсутствует. За величину подачи S_z принимают подъем на зуб, т.е. разность размеров по высоте двух соседних зубьев протяжки. S_z является одновременно и глубиной резания.

Протяжные станки предназначены для обработки внутренних и наружных поверхностей. По направлению главного движения различают станки: вертикальные и горизонтальные

Отверстия различной геометрической формы протягивают на горизонтально-протяжных станках для внутреннего протягивания. Размеры протягиваемых отверстий составляют $5 \div 250$ мм.

Схемы обработки заготовок на протяжных станках представлены на рис. 91.

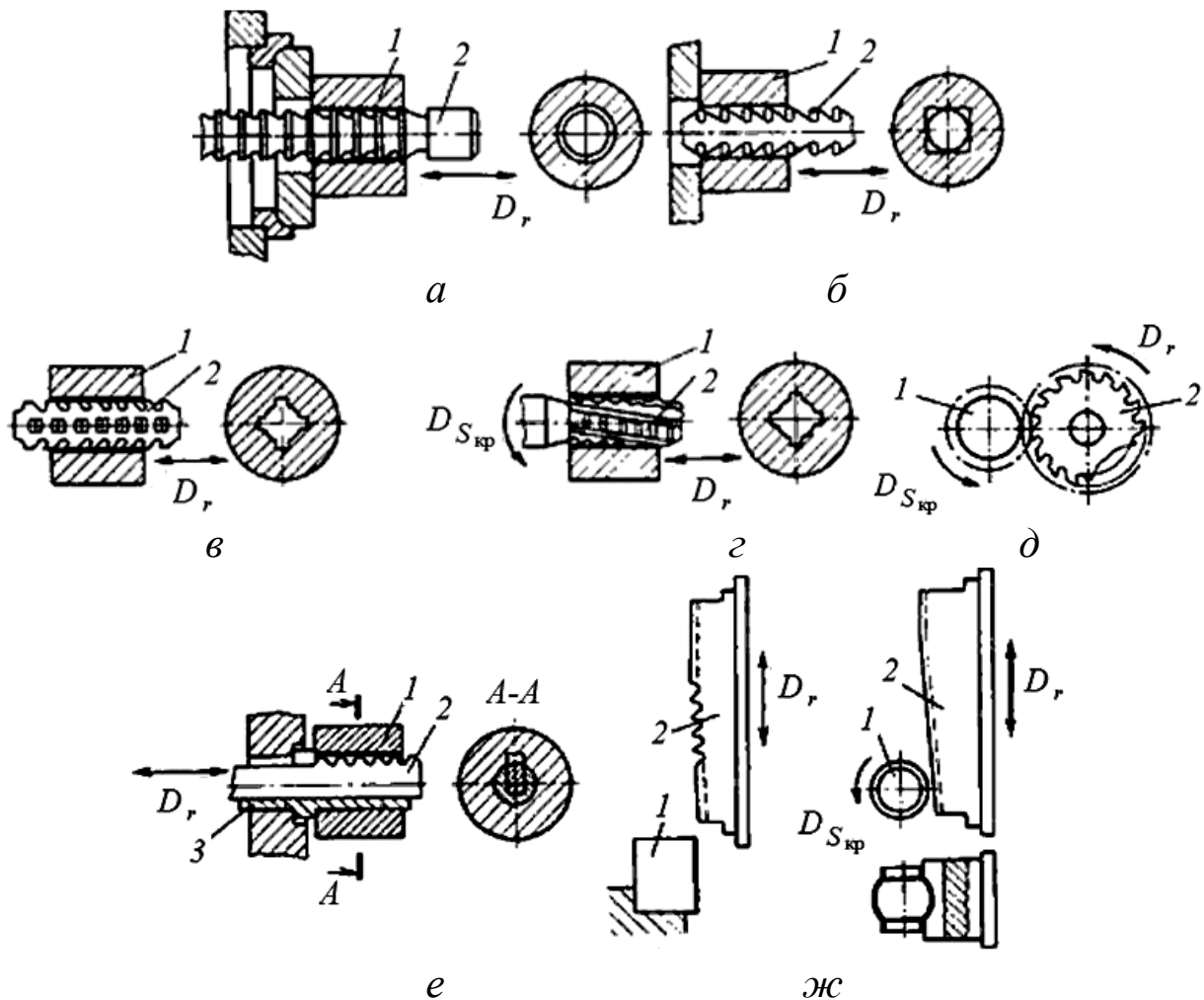


Рис. 91. Схемы обработки заготовок на протяжных станках:
1 – заготовка; 2 – протяжка; 3 – втулка направляющая

Отверстия протягивают круглыми, квадратными и другими протяжками (рис. 91, а, б, в, г) после сверления, растачивания или зенкерования, а также в литых или штампованных заготовках. Длина отверстий не превышает трех диаметров.

Наружные поверхности заготовок типа тел вращения можно обрабатывать на специальных протяжных станках (рис. 91, д).

Шпоночные (рис. 91, е) и другие пазы протягивают протяжками, форма зубьев которых в поперечном сечении соответствует профилю протягиваемого паза, с применением специального приспособления – направляющей втулки 3.

Наружные поверхности различной геометрической формы протягивают на вертикально-протяжных станках для наружного протягивания. Схема протягивания вертикальной плоскости показана на рис. 91, ж.

5.4.4. Фрезерование

Фрезерование – высокопроизводительный и распространенный метод обработки поверхностей заготовок многолезвийным режущим инструментом – фрезой.

Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы, а движением подачи – поступательное перемещение заготовки. Движением подачи может быть и вращательное движение заготовки вокруг оси вращающегося стола или барабана (карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки). Каждый режущий зуб при вращении фрезы врежется в заготовку и осуществляет резание только в пределах определенного угла поворота фрезы, а затем вращается вхолостую до следующего врезания. Таким образом, особенностью процесса фрезерования является периодичность и прерывистость процесса резания каждым зубом фрезы, при этом процесс врезания зуба сопровождается ударами.

По исполнению фрезы делятся на цилиндрические, когда зубья располагаются только на цилиндрической поверхности фрезы, и торцовые, у которых режущие зубья располагаются на торцовой и цилиндрической поверхности фрезы.

Схемы обработки заготовок на станках фрезерной группы представлены на рис. 92.

Горизонтальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках цилиндрическими фрезами (рис. 92, а) и на вертикально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 92, б).

Вертикальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 92, в) и торцовыми фрезерными головками, а на вертикально-фрезерных станках – концевыми фрезами (рис. 92, г).

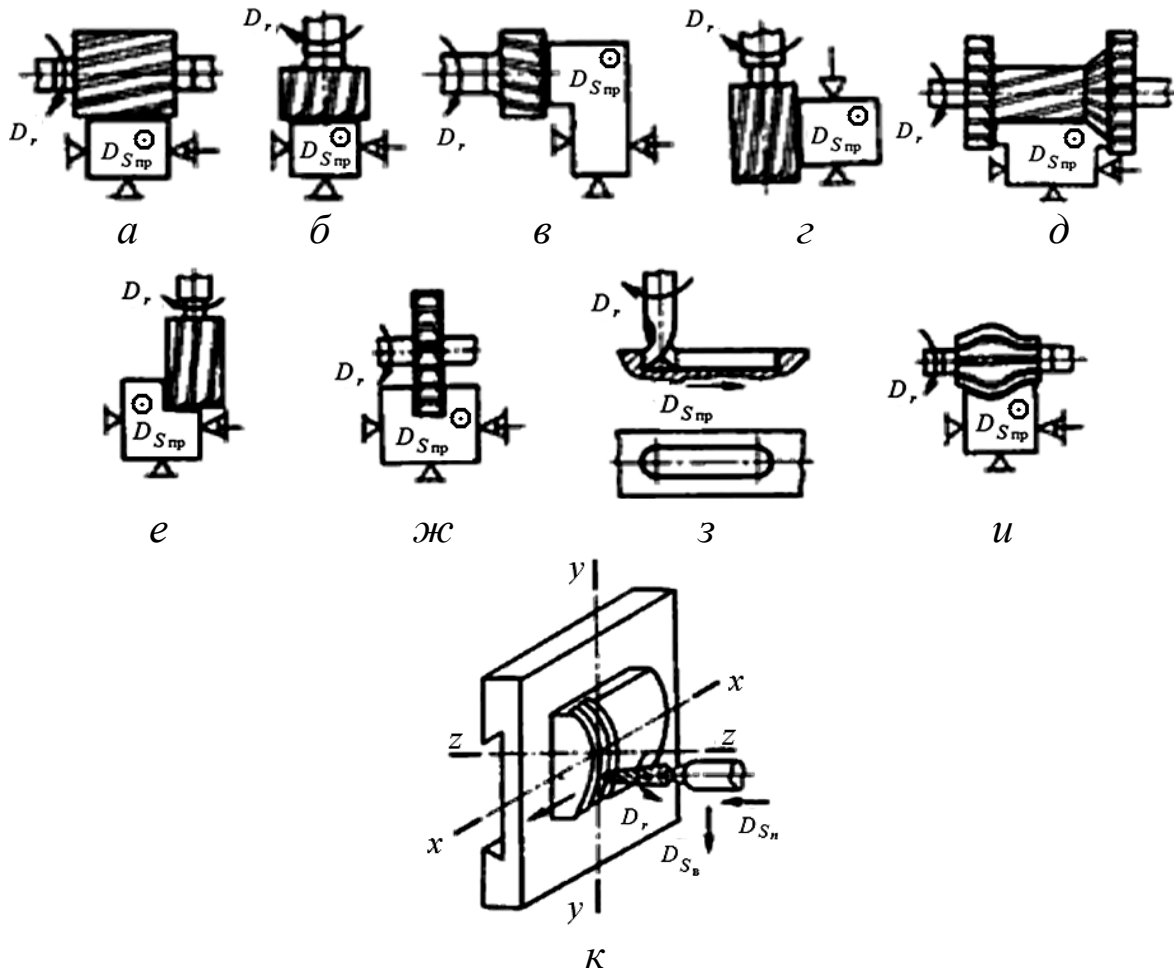


Рис. 92. Схемы обработки заготовок на станках фрезерной группы

Комбинированные поверхности фрезеруют набором фрез (рис. 92, д) на горизонтально-фрезерных станках.

Уступы и прямоугольные пазы фрезеруют концевыми (рис. 92, е) и дисковыми (рис. 92, ж) фрезами.

Шпоночные пазы фрезеруют концевыми или шпоночными фрезами на вертикально-фрезерных станках (рис. 92, з).

Фасонные поверхности незамкнутого контура с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей фрезеруют фасонными фрезами соответствующего профиля (рис. 92, и).

Пространственно сложные поверхности обрабатывают на копировально-фрезерных автоматах (рис. 92, к). Обработку производят специальной концевой фрезой. Фрезерование ведут по трем координатам: x , y , z (объемное фрезерование).

5.4.5. Стругание и долбление

Стругание и долбление применяют при обработке плоских и фасонных поверхностей.

Процесс *строгания* целесообразно применять при обработке длинных и узких поверхностей. Обработку производят строгальными резцами на поперечно-строгальных станках (главное движение – возвратно-поступательное движение резца, движение подачи – поперечное перемещение стола в конце холостого хода резца) и продольно-строгальных станках (главное движение, возвратно-поступательное, получает стол с заготовкой, а поперечную подачу – резец).

Процесс *долбления* осуществляют на долбежных станках. В качестве режущего инструмента применяют долбежные резцы. Ползун с резцом получает (главное) возвратно-поступательное движение в вертикальном направлении. Заготовка, установленная на столе, может получать продольное, поперечное либо круговое перемещение (движение подачи). Чаще всего долбление применяют для обработки внутренних фасонных поверхностей, шпоночных канавок.

5.4.7. Нарезание резьбы

В технике широко применяются различные типы резьб: цилиндрические, конические. По форме профиля – треугольные, прямоугольные, трапецеидальные и круглые. Резьбы могут быть одно- и многозаходные, правые и левые, наружные и внутренние. По назначению они бывают крепежные и ходовые. По параметрам измерения шага они подразделяются на метрические, дюймовые, модульные. Профиль резьбы обеспечивается соответствующим профилем режущего инструмента.

Резьбы можно нарезать лезвийными режущими инструментами: резцами, гребенками, метчиками, плашками, фрезами, резьбно-нарезными головками. Резьбу шлифуют после нарезания лезвийными инструментами или без предварительного нарезания.

Резьбу получают как резанием, так и пластическим деформированием поверхности заготовки – накатыванием плашками, роликами, накатными головками и раскатниками.

5.4.7. Нарезание зубчатых колес

Зубчатые зацепления находят широкое применение в современной технике для передачи вращательных движений, а также для преобразования вращательного движения в поступательное.

Преимущества зубчатых передач (по сравнению с ременными, цепными): обеспечивают передачу больших мощностей; сохраняют постоянство передаточного отношения; имеют высокий КПД (до 0,99). Кроме того, зубчатые передачи долговечны и надежны.

По назначению зубчатые передачи делят: на силовые (для передачи больших усилий при малых числах оборотов), например, механизмы подъемно-транспортных машин; скоростные ($V \approx 150$ м/с) – редукторы турбинных двигателей; отсчетные, обеспечивающие точную согласованность углов поворота ведомого и ведущего колес (следящие системы приборов); общего назначения, работающие при малых нагрузках и окружных скоростях.

Эксплуатационные показатели зубчатых передач зависят от точности изготовления отдельных зубчатых колес. ГОСТами установлено 12 степеней точности на зубчатые и червячные колеса. Степень точности включает в себя: кинематическую точность; плавность работы.

Зубчатые колеса можно получить литьем, штамповкой, накаткой в горячем и холодном состоянии, обработкой резанием. Нарезание зубчатых колес можно вести методом копирования или методом обкатки.

Нарезание зубчатых колес *методом копирования*.

Сущность метода – профиль впадин между зубьями нарезаемого колеса является копией профиля режущих кромок инструмента.

К основным инструментам, работающим по методу копирования, относятся: дисковые и пальцевые модульные фрезы; зубодолбежные головки; круговые протяжки.

Принцип работы фрезой (рис. 93) – фреза прорезает впадину между зубьями (несколько проходов), после чего заготовка проворачивается на $1/z$ часть окружности (z – число зубьев) и прорезается следующая впадина (на универсальных фрезерных станках).

Нарезание зубчатых колес *методом обкатки*.

Сущность метода обкатки заключается в том, что в процессе нарезания зубьев воспроизводится зацепление известных зубчатых пар (двух зубчатых колес, червячного колеса и вала-червяка, зубчатого колеса и рейки) с наложением некоторых дополнительных движений. При этом один из элементов зубчатой пары представлен в виде заготовки нарезаемого колеса, другой трансформирован в режущий инструмент.

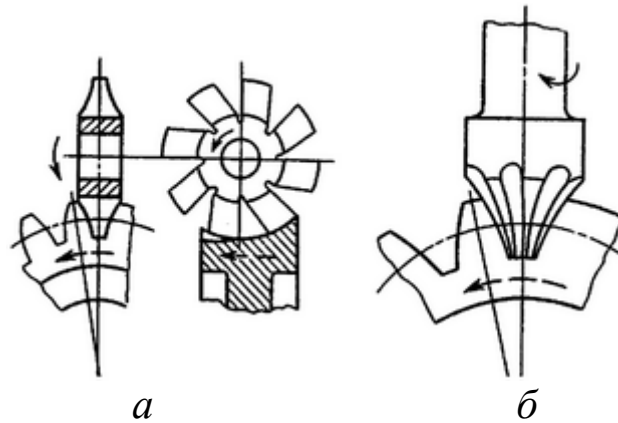


Рис. 93. Схема нарезания зубчатых колес модульными фрезами:
a – дисковой; *б* – пальцевой

Инструменты: червячные модульные фрезы; долбяки; зубо-строгальные резцы; зуборезные резцовые головки.

Нарезание зубчатых колес долбяками (рис. 94) основано на имитации зацепления двух цилиндрических колес, одно – заготовка, другое – инструмент. Этот метод характеризуется высокой точностью по сравнению с зубонарезанием.

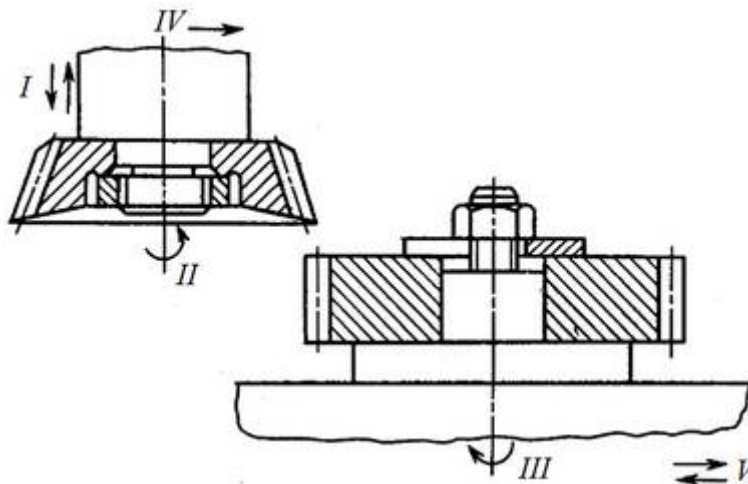


Рис. 94. Схема нарезания зубчатого колеса долбяком

При зубонарезании применяют зубоотделочные операции: шевингование (дисковый шевер); шлифование зубьев (профильным кругом, тарельчатым кругом, кругом с коническим профилем).

Обработка зубчатых колес производится на зубодолбежных, зубофрезерных, зубошлифовальных и других зубообрабатывающих станках.

5.4.8. Шлифование

Шлифование – процесс обработки заготовок резанием с помощью инструментов (кругов), состоящих из абразивного материала.

Абразивные зерна расположены не упорядоченно. При вращательном движении в зоне контакта с заготовкой часть зерен срезает материал в виде очень большого числа тонких стружек.

Процесс резания каждым зерном осуществляется мгновенно. Обработанная поверхность представляет собой совокупность микроследов абразивных зерен и имеет малую шероховатость. Шлифование применяют для чистовой и отделочной обработки деталей с высокой точностью.

Главным движением при шлифовании является вращение шлифовального круга, а перемещение круга относительно детали является движением подачи. Различают следующие основные схемы шлифования: плоское, круглое, внутреннее (рис. 95).

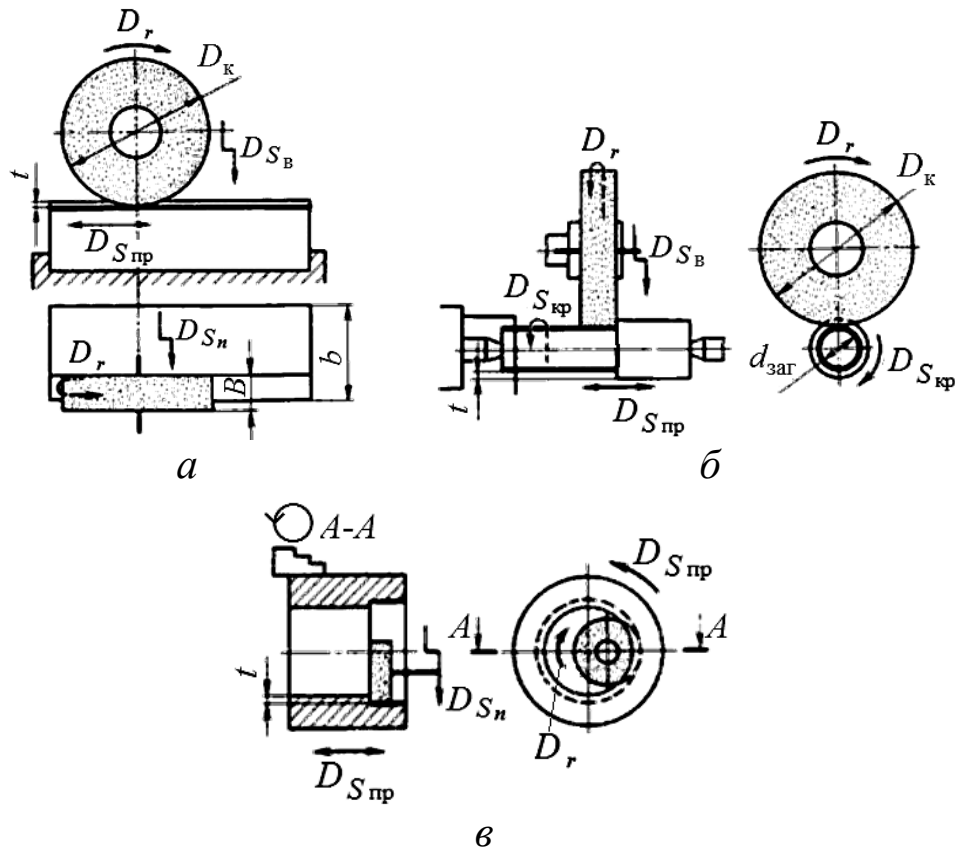


Рис. 95. Основные схемы шлифования

При плоском шлифовании (рис. 95, а) возвратно-поступательное движение заготовок необходимо для обеспечения продольной подачи $S_{пр}$. Для обработки поверхности на всю ширину b заготовка или круг должны иметь поперечную подачу $D_{S_{пр}}$, которая осуществляется прерывисто при крайних положениях заготовки в конце продольного хода. Периодически осуществляется движение вертикальной подачи D_{S_B} , в крайних положениях заготовки в конце поперечного хода.

Плоское шлифование может осуществляться периферией или торцом шлифовального круга.

При круглом шлифовании (рис. 95, б) движение продольной подачи осуществляется возвратно-поступательным перемещением заготовки. Подача $S_{пр}$ соответствует осевому перемещению заготовки за один ее оборот. Вращение заготовки является движением круговой подачи. Подача $S_{пр}$ на глубину резания происходит при крайних положениях заготовки.

Движения, осуществляемые при внутреннем шлифовании, показаны на рис. 95, в.

Для выполнения процесса шлифования наружных поверхностей деталей используются кругло-шлифовальные, плоско-шлифовальные и бесцентрово-шлифовальные станки. Для обработки сложных фасонных поверхностей используются специальные ленто-шлифовальные станки.

В ленто-шлифовальных станках применяется инструмент в виде бесконечной абразивной ленты. Лента в процессе шлифования поверхности сложной формы (например, лопатки турбин) огибает сложную поверхность и перемещается в осевом и продольном направлениях. Абразивный слой наносят на бумажную или тканевую основу ленты.

Шлифованием обрабатываются только жесткие детали. Данный способ не допускает обработки малых отверстий.

5.5. Технологические методы отделочной (финишной) обработки поверхностей деталей машин

Развитие машиностроения связано с увеличением нагрузок на детали машин, увеличением скоростей движения, уменьшением массы конструкции.

Выполнить эти требования можно при достижении особых качеств поверхностных слоев деталей.

Влияние качества поверхностных слоев на эксплуатационные свойства огромно, изменяются: износостойкость; коррозионная стойкость; контактная жесткость; прочность соединений и другие свойства.

С этой целью широко применяются отделочные методы обработки, для которых характерны малые силы резания, незначительное тепловыделение, малая толщина срезаемого слоя.

5.5.1. Хонингование

Хонингование применяют для получения поверхностей высокой точности и малой шероховатости, а также для создания специфического микропрофиля обработанной поверхности в виде сетки (для удержания смазочного материала на поверхности деталей).

Поверхность неподвижной заготовки обрабатывается мелкозернистыми абразивными брусками, закрепленными в хонинговальной головке (хоне). Бруски вращаются и одновременно перемещаются возвратно-поступательно вдоль оси обрабатываемого отверстия (рис. 96, а). Соотношение скоростей движений составляет $1,5 \div 10,0$ и определяет условия резания.

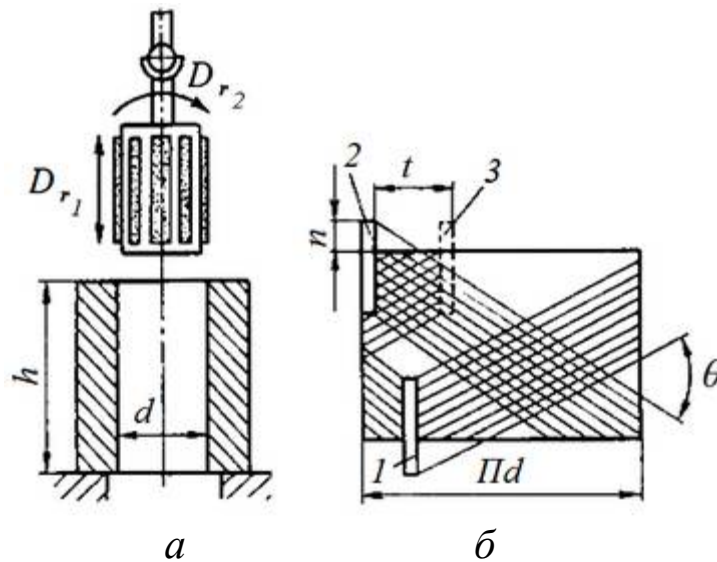


Рис. 96. Схема хонингования

При сочетании движений на обрабатываемой поверхности появляется сетка микроскопических винтовых царапин – следов перемещения абразивных зерен. Угол θ пересечения этих следов зависит от соотношения скоростей (рис. 96, б).

Абразивные бруски всегда контактируют с обрабатываемой поверхностью, так как могут раздвигаться в радиальном направлении. Давление бруска контролируется. Этот процесс осуществляется на специальных хонинговальных установках.

5.5.2. Суперфиниширование

Суперфиниширование уменьшает шероховатость поверхности, оставшуюся от предыдущей обработки. Получают очень гладкую

поверхность, сетчатый рельеф, благоприятные условия для взаимодействия поверхностей.

Поверхности обрабатывают абразивными брусками, установленными в специальной головке. Для суперфиниширования характерно колебательное движение брусков наряду с движением заготовки (рис. 97).

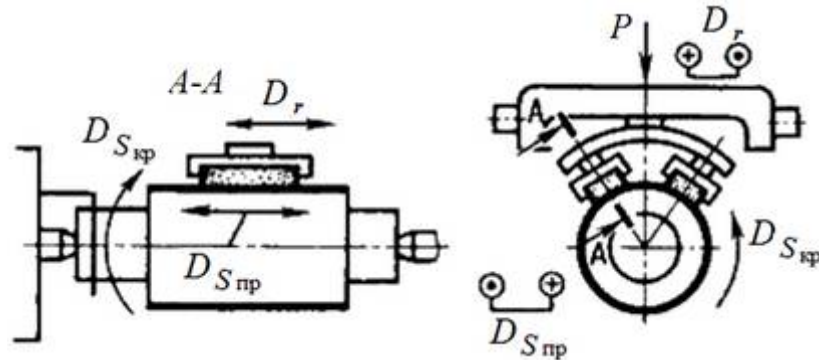


Рис. 97. Схема суперфиниширования

Процесс резания происходит при давлении брусков $(0,5 \div 3,0) \cdot 10^5$ Па в присутствии смазочного материала малой вязкости.

Частота колебаний $400 \div 1200$ мин⁻¹. Амплитуда колебаний $1,5 \div 6,0$ мм. Бруски подпружинены и самоустанавливаются по обрабатываемой поверхности. Соотношение скоростей $D_{S_{кр}}$ к D_r в начале обработки составляет $2 \div 4$, а в конце — $8 \div 16$.

5.5.3. Полирование

Полированием уменьшают шероховатость поверхности.

Этим способом получают зеркальный блеск на ответственных частях деталей (дорожки качения подшипников) либо на декоративных элементах (облицовочные части автомобилей). Используют полировальные пасты или абразивные зерна, смешанные со смазочным материалом. Эти материалы наносят на быстро вращающиеся эластичные круги (фетровые) или на колеблющиеся щетки.

Хорошие результаты дает полирование быстро движущимися абразивными лентами (шкурками). При этом одновременно протекают следующие процессы: тонкое резание; пластическое деформирование поверхностного слоя; химические реакции (воздействие на металл химически активных веществ). Схема полирования представлена на рис. 98.

Для процесса характерны высокие скорости, до 50 м/с. Заготовка поджимается к кругу силой P и совершает движения подачи

$D_{S_{кр}}$ и $D_{S_{пр}}$ в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности. В процессе полирования не исправляются погрешности формы.

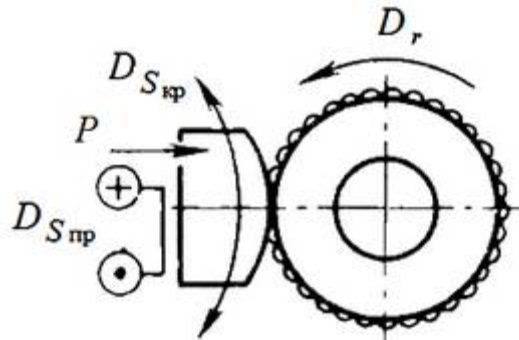


Рис. 98. Схема полирования

5.5.4. Отделочно-зачистная обработка деталей

Обработку применяют для снятия заусенцев, очистки, размерной и декоративной отделки поверхностей. Заусенцы всегда сопутствуют процессу резания и представляют собой излишки материала, располагающиеся на кромках и углах деталей. Они имеют вид гребенок малой толщины. Как правило, заусенцы образуются в результате сдвига металла при выходе режущего инструмента из контакта с заготовкой. Также удаляют шаржированные частицы — внедрения в поверхность детали абразивных или алмазных осколков зерен в результате шлифования.

Для зачистки, очистки, а также упрочнения крупногабаритных деталей перспективны ударные методы. Деталь помещают в камеру и подают на нее из сопла с помощью сжатого воздуха металлический песок, дробь, металлические или пластмассовые шарики. Используют до несколько сопел.

С помощью ударных методов выполняют полирование, декоративное шлифование, упрочнение, очистку и зачистку. При *галтовке* (рис. 99) детали загружают в барабан навалом. Круглые или граненые барабаны вращаются вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной оси. Режущим инструментом служит абразивный бой, галтовочные тела. Для операций полирования применяют абразивные зерна, абразивные порошки, деревянные шары, обрезки кожи, войлока, мелкие стальные полировальные шарики.

В процессе галтовки абразив и детали взаимодействуют, происходят многочисленные соударения, скольжение и микрорезание поверхностей. Для интенсификации процесса обработки детали (D) закрепляют на осях и дополнительно вращают.

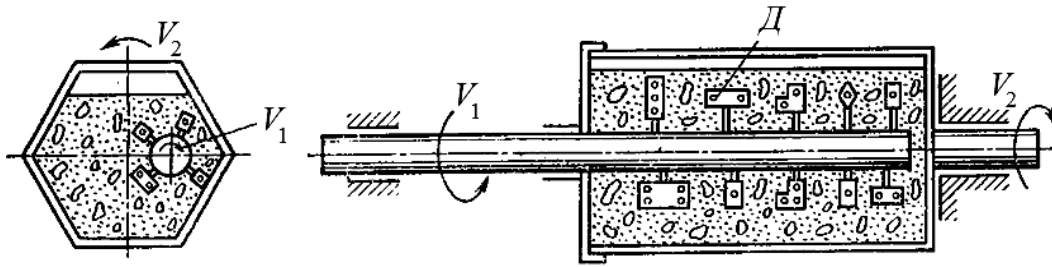


Рис. 99. Схема обработки галтовкой

При галтовке обрабатываются только наружные поверхности. Эта операция существенно снижает стоимость отделочной обработки.

Виброабразивную обработку осуществляют в контейнерах, заполненных абразивными зёрнами и жидкостью, в которых размещаются детали. Относительное перемещение зёрен абразива и обрабатываемых поверхностей деталей производится за счет сообщения контейнеру колебаний в нескольких направлениях. Виброабразивная обработка позволяет успешно механизировать трудоемкие операции по очистке, снятию заусенцев и полированию деталей сложной формы.

Притирка обеспечивает наиболее высокую точность и высокое качество поверхностного слоя. Притирочные смеси, наносимые на диск-притир, применяют в виде паст и суспензий с концентрацией абразивов (мелких шлифпорошков и микропорошков) от 3 до 30 %. Давления на деталь небольшие, до 0,5 МПа. При относительном движении притира и детали происходит снятие тонких слоев материала. На предварительных операциях применяют мягкие пористые притиры, а на окончательных – твердые, обычно стеклянные, притиры.

5.5.5. Абразивно-жидкостная отделка

Данный вид обработки применяется для отделки объемно-криволинейных, фасонных поверхностей.

На обрабатываемую поверхность, имеющую следы предшествующей обработки, подают струи антикоррозионной жидкости со взвешенными частицами абразивного порошка.

Водно-абразивная суспензия перемещается под давлением с большой скоростью. Частицы абразива ударяются о поверхность заготовки и сглаживают микронеровности.

Интенсивность съема материала регулируется зернистостью порошка, давлением струи и углом, под которым подают жидкость.

Жидкостная пленка играет важную роль в данном процессе.

Зерна, попадающие на выступы, легко преодолевают ее, а зерна, попадающие во впадины, встречают сопротивление, съём материала затрудняется, шероховатость сглаживается.

Метод жидкостного полирования успешно применяется при обработке фасонных внутренних поверхностей. Сопло вводится в полость заготовки, которая совершает вращательное и поступательное перемещения в зависимости от профиля обрабатываемой поверхности.

5.6. Технологические особенности методов обработки заготовок без снятия стружки

5.6.1. Чистовая обработка пластическим деформированием

Методы обработки без снятия стружки широко применяют для деталей в связи с ужесточением эксплуатационных характеристик машин: высокой производительности, быстроходности, прочности, точности и др. Такой обработке подвергают предварительно подготовленные поверхности.

Если формы заготовок приблизить к формам готовых деталей, то ответственные поверхности можно обрабатывать шлифованием и затем окончательно одним из методов обработки без снятия стружки.

Методы обработки основаны на использовании пластических свойств металлов, т.е. способности металлических заготовок принимать остаточные деформации без нарушения целостности металла. Отделочная обработка методами пластического деформирования сопровождается упрочнением поверхностного слоя, что очень важно для повышения надежности работы деталей. Детали становятся менее чувствительными к усталостному разрушению, повышаются их коррозионная стойкость и износостойкость сопряжений, удаляются риски и микротрещины, оставшиеся от предшествующей обработки. В ходе обработки шаровидная форма кристаллитов поверхности металла может измениться, кристаллиты сплющиваются в направлении деформации, образуется упорядоченная структура волокнистого характера. Поверхность заготовки принимает требуемые формы и размеры в результате перераспределения элементарных объемов под воздействием инструмента. Исходный объем заготовки остается постоянным.

В зоне обработки не возникает высокая температура, поэтому в поверхностных слоях фазовые превращения не происходят.

Обработку без снятия стружки выполняют на металлорежущих станках и установках, используя специальные инструменты. Созданы также особые станки, на которых наряду с резанием заготовки обрабатывают пластическим деформированием. Методы чистовой обработки используют для всех металлов, способных пластически деформироваться, но наиболее эффективны они для металлов с твердостью до 280 НВ.

Методы чистовой обработки применяются для высокоточной обработки деталей, размеры которых имеют точность в долях микрометра.

5.6.2. Обкатывание и раскатывание поверхностей

Обкатыванием и раскатыванием отделяют и упрочняют цилиндрические, конические, плоские и фасонные наружные и внутренние поверхности. Сущность этих методов состоит в том, что в результате давления инструментом высокой твердости происходит упрочнение поверхностного слоя металла.

Упрочнение металла под действием холодной пластической деформации называется наклепом или нагартовкой. При этом изменяется строение металла (искажается кристаллическая решетка и деформируются зерна). Это сопровождается увеличением твердости и прочности в 1,5÷3,0 раза. Возникающие в наклепанном слое напряжения сжатия повышают сопротивление усталости. Упрочнение поверхности пластическим деформированием повышает надежность работы деталей, снижает чувствительность к концентраторам напряжений, повышает сопротивление изнашиванию и коррозионную стойкость, устраняет следы предыдущей обработки.

Инструментом для обкатывания и раскатывания служат ролики и шарики, перемещающиеся относительно заготовки. Микронеровности обрабатываемой поверхности сглаживаются путем смятия микровыступов и заполнения микровпадин.

Обкатывают наружные поверхности, а раскатывают внутренние цилиндрические и фасонные поверхности. При обкатывании роликами основными параметрами режима упрочнения являются давление в зоне контакта с роликом, число его проходов, подача и скорость обкатывания. Глубину деформированного слоя определяет давление.

На рис. 100 показаны распространенные схемы обкатывания и раскатывания поверхностей. К вращающейся цилиндрической заго-

товке подводят закаленный гладкий ролик-обкатку (рис. 100, *а*), который под действием рабочего давления деформирует поверхность. Движение продольной подачи позволяет обрабатывать всю заготовку. Аналогичным инструментом обрабатывают элементы заготовок, но с поперечным движением (рис. 100, *б*). При раскатывании ролик-раскатку закрепляют на консольной оправке (рис. 100, *в*). Более совершенна конструкция инструмента с несколькими роликами (рис. 100, *г*).

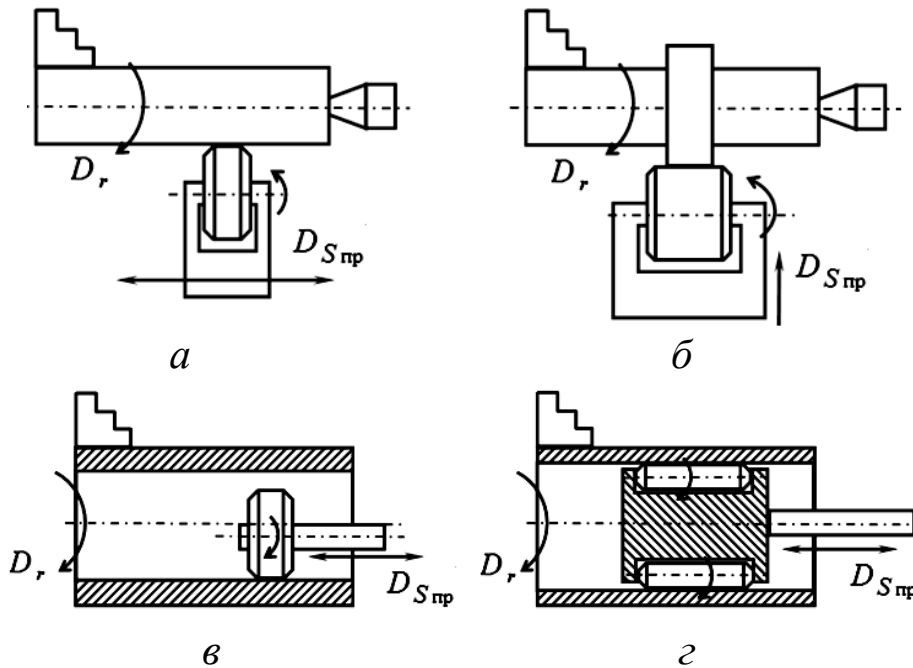


Рис. 100. Схемы обкатывания (*а, б*) и раскатывания (*в, г*) поверхностей

Для обеспечения значительной однородности форм микронеровностей используют разнообразные конструкции инструментов, различающихся числом и формой деформирующих частей (роликов, шариков). Наилучшие результаты обеспечивают инструменты, на которые силы передаются через упругие элементы. Этим достигаются постоянные условия обработки в любой точке обрабатываемой поверхности. Сила пластического деформирования может регулироваться.

Для обработки поверхностей обкатыванием и раскатыванием чаще всего используют токарные или карусельные станки, применяя вместо режущего инструмента обкатки и раскатки. Суппорты обеспечивают необходимое движение подачи. Раскатки можно устанавливать в пиноли задних бабок. Глубокие отверстия раскатывают на станках для глубокого сверления.

Нагрев заготовок в местах контакта с инструментом незначителен, поэтому охлаждения не требуется. Для уменьшения трения используют смазывание веретенным маслом или керосином.

Обкатыванием и раскатыванием лишь в незначительной степени исправляют погрешности предшествующей обработки. Поэтому предварительная обработка заготовок должна быть точной с учетом смятия микронеровностей и изменения окончательного размера детали. Решающее значение в достижении необходимого качества поверхностного слоя имеет давление на поверхность. Чрезмерно большое давление так же, как и большое число проходов инструмента, разрушает поверхность и может привести к отслаиванию ее отдельных участков.

5.6.3. Алмазное выглаживание

Малой шероховатости поверхности и ее упрочнения можно достичь алмазным выглаживанием. Сущность этого метода состоит в том, что оставшиеся после обработки резанием неровности поверхности выглаживаются перемещающимся по ней прижатым алмазным инструментом. Алмаз, закрепленный в державке, не вращается, а скользит с весьма малым коэффициентом трения. Рабочая часть инструмента выполнена в виде полусферы, цилиндра или конуса. Чем тверже обрабатываемый материал, тем меньше радиус скругления рабочей части алмаза.

Преимущества алмазного выглаживания состоят в повышении эксплуатационных свойств обработанных поверхностей, снижении шероховатости поверхности, отсутствии переноса на обрабатываемую поверхность посторонних частиц, возможности обработки тонкостенных и сложных по конфигурации деталей, простоте конструкции выглаживателей.

Заготовки обрабатывают на станках токарной группы. Державку с подпружиненным наконечником с алмазом устанавливают в резцедержателе вместо резца. Движения заготовки и инструмента аналогичны движениям заготовки и инструмента при обтачивании.

Силы прижатия алмаза к обрабатываемой поверхности сравнительно малы и колеблются в интервале $50 \div 300$ Н. Процесс выглаживания ведут со смазыванием веретенным маслом, что примерно в 5 раз уменьшает износ алмаза по сравнению с износом при выглаживании всухую. Применение керосина или эмульсии приводит к интенсивному износу алмаза. Число проходов инструмента не должно быть более двух.

5.6.4. Калибровка отверстий

Калибровкой повышают точность отверстий и получают поверхности высокого качества. Метод характеризуется высокой производительностью.

Сущность калибровки сводится к перемещению в отверстия с натягом жесткого инструмента. Размеры поперечного сечения инструмента несколько больше размеров поперечного сечения отверстия. При этом инструмент сглаживает неровности, исправляет погрешности, упрочняет поверхность.

Простейшим инструментом служит шарик, который проталкивается штоком (рис. 101, *а*). Роль инструмента может выполнять также оправка-дорн (рис. 101, *б*), к которому прикладывается сжимающая или растягивающая (рис. 101, *в*) сила. Заготовки обрабатываются за один или несколько ходов инструмента.

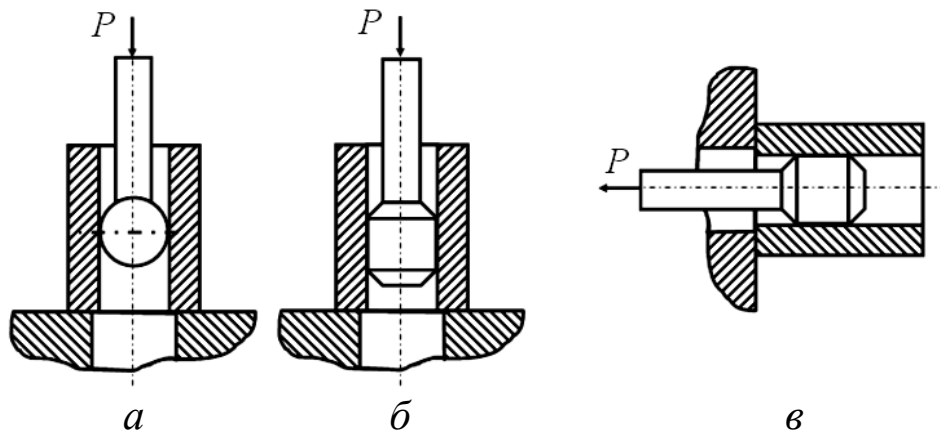


Рис. 101. Схемы калибровки отверстий:
а – шариком; *б*, *в* – дорном

Заготовки обрабатывают с малыми либо большими натягами. В первом случае зона пластического деформирования не распространяется на всю толщину детали. Так обрабатывают толстостенные заготовки. Во втором случае зона пластического деформирования охватывает всю деталь. Этот вариант обработки используют для тонкостенных деталей, что существенно повышает их точность. Шарик как инструмент не обеспечивают оптимальных условий деформирования и имеют малую стойкость. Калибрующие оправки выполняют одноэлементными, многоэлементными или сборными. Каждый из элементов-поясков имеет свой размер. Деформирующие элементы изготавливают из твердого сплава или стали, закаленных до высокой твердости.

В качестве смазочного материала для сталей и бронз применяют сульфозфрезол, для чугунов – керосин. Разработаны специальные смазочные материалы, обеспечивающие жидкостное трение. Они снижают рабочее усилие оборудования, способствуют повышению качества поверхностных слоев, увеличивают точность обработки и стойкость инструмента.

Отверстия калибруют на прессах (см. рис. 101, *а, б*) или горизонтально-протяжных станках (см. рис. 101, *в*). Для правильного взаимного расположения инструмента и заготовки обычно применяют самоустанавливающиеся приспособления с шаровой опорой. Заготовку не закрепляют.

5.6.5. Обкатывание зубчатых колес

Пластическое деформирование поверхностных слоев повышает работоспособность зубчатых колес. Микронеровности, оставшиеся от предшествующей обработки, сглаживаются путем смятия специальным инструментом. Обкатываемое зубчатое колесо вводят в плотное зацепление с тремя остальными, закаленными эталонными колесами. Последние имеют полированные зубья и располагаются вокруг обкатываемого колеса. Эталонные колеса прижимаются к обкатываемому с помощью пружинных устройств. Сила прижима регламентируется. Одно из эталонных колес является ведущим и приводит во вращение обкатываемое колесо, а через него – два остальных эталонных колеса. Движение колес реверсируется. Колеса обкатывают со смазочными материалами на специальных зубообкатных станках. Обкатыванием лишь частично исправляют профиль зуба и его размеры путем сглаживания шероховатостей.

5.6.7. Накатывание резьб, шлицевых валов и зубчатых колес

Формообразование фасонных поверхностей в холодном состоянии методом накатывания имеет ряд преимуществ. Главные из них – очень высокая производительность, низкая стоимость обработки, высокое качество обработанных деталей. Накатанные детали имеют более высокое сопротивление усталости. Это объясняется тем, что при формообразовании накатыванием волокна исходной заготовки не перерезаются, как при обработке резанием. Профиль накатываемых деталей образуется за счет вдавливания инструмента

в материал заготовки и выдавливания части его во впадины инструмента. Такие методы сочетают в себе функции черновой, чистовой и отделочной обработок. Их используют для получения резьб, валов с мелкими шлицами и зубчатых мелко модульных колес.

Резьбы накатывают обычно до термической обработки, хотя точные резьбы можно накатывать и после нее.

При формировании резьбы плашками (рис. 102, а) заготовку 2 помещают между неподвижной 1 и подвижной 3 платками, имеющими на рабочих поверхностях рифления, профиль и расположение которых соответствуют профилю и шагу накатываемой резьбы. При перемещении подвижной плашки заготовка катится между инструментами, а на ее поверхности образуется резьба.

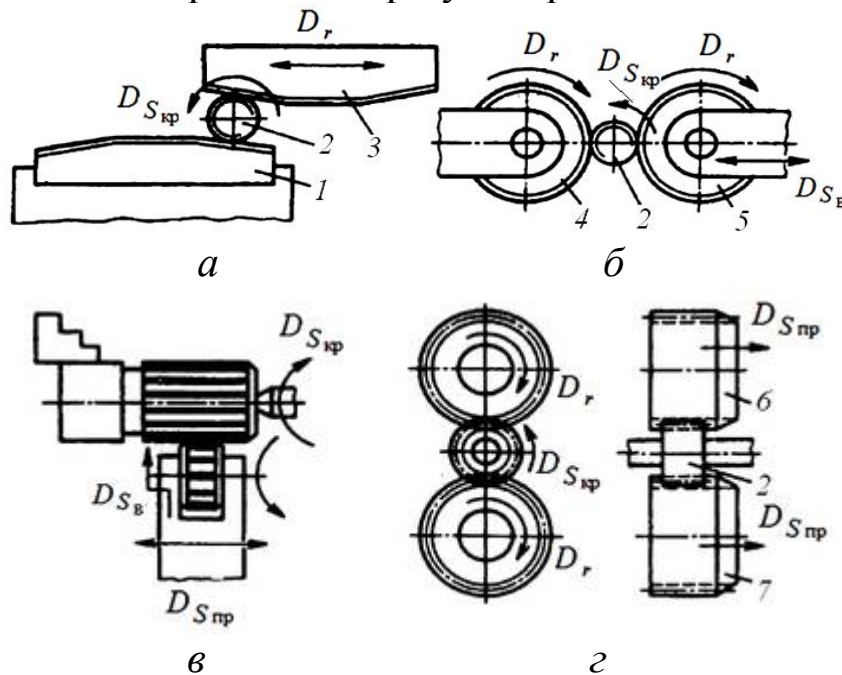


Рис. 102. Схемы накатывания

При формировании резьбы роликами (рис. 102, б) ролики 4 и 5 получают принудительное вращение, заготовка 2 свободно обкатывается между ними. Ролику 5 придается радиальное движение для вдавливания в металл заготовки на необходимую глубину. Обработка роликами требует меньших сил, с их помощью накатывают резьбы с более крупным шагом.

При накатывании мелких шлицев на валах (рис. 102, в) накатный ролик имеет профиль шлицев. Он внедряется в поверхность заготовки при вращении и поступательном продольном перемещении вдоль вала.

Накатывание цилиндрических (рис. 102, г) и конических мелко модульных колес в 15÷20 раз производительнее зубонарезания.

Процесс можно осуществлять на токарных станках накатниками 6 и 7, которые закреплены на суппорте и перемещаются, совершая движение подачи.

Каждый накатник имеет заборную часть для постепенного образования накатываемых зубьев на заготовке 2.

Для накатывания применяют универсальное специальное оборудование. Для образования резьб служат резьбонакатные станки, обеспечивающие силы до $2 \cdot 10^5$ Н. Эти станки автоматизированы и имеют горизонтальное, наклонное или вертикальное движение ползуна с плашкой. Резьбы роликами накатывают на автоматах. На автоматизированном оборудовании (прессах) накатывают и шлицы. Шлиценакатной пресс может заменить 10÷15 шлицефрезерных станков. Рабочие усилия создаются мощными гидравлическими устройствами.

Зубчатые колеса накатывают на специальных станках. Получает распространение комбинированное накатывание (горячее накатывание с последующей холодной калибровкой).

5.6.8. Накатывание рифлений и клейм

Методом холодного накатывания на отдельные элементы деталей наносят рифления, маркировочные клейма, знаки (рис. 103). Производительность метода весьма велика. В основе накатывания лежит способность металла получать местные деформации под действием накатных роликов или накатников.

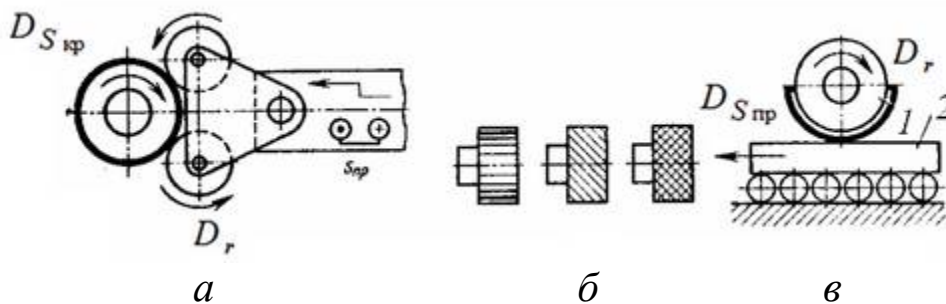


Рис. 103. Схемы накатывания рифлений и клейм

На рис. 103, а приведена схема накатывания рифленой поверхности. Заготовку закрепляют на токарном станке, на суппорте которого установлена державка с одним или двумя накатными роликами. Ролики внедряются в поверхность заготовки и перемещаются вдоль заготовки с движением. Вид рифлений (рис. 103, б) определяется характером зубчиков на роликах. Крестовое рифление произ-

водят двумя роликами, один из которых имеет правое направление отпечатывающих зубчиков, а другой – левое. Оба ролика вращаются на осях самоустанавливающейся державки. Для накатывания клейм (рис. 103, в) на накатнике 1 располагают негативно выступающие знаки. Заготовку 2 устанавливают на ролики для более легкого перемещения в момент накатывания.

5.6.9. Упрочняющая обработка поверхностных слоев деталей

Упрочняющую обработку предпринимают для увеличения сопротивления усталости деталей. Методы упрочнения основаны на локальном воздействии инструмента на обрабатываемый материал. При этом возникают многочисленные зоны воздействия на весьма малых участках поверхности, в результате чего создаются очень большие местные давления. Многочисленные контакты с инструментом приводят к упрочнению поверхностного слоя. В поверхностных слоях возникают существенные напряжения сжатия.

Прочность конструкционных материалов повышается благодаря воздействию нагрузок, создающих эффективные препятствия для движения несовершенств кристаллической решетки. При этом создаются структуры с повышенной плотностью закрепленных и равномерно распределенных по объему дислокаций.

Распространено упрочнение нанесением ударов по поверхности заготовки шариками, роликами, различными бойками. При динамическом упрочнении в качестве инструмента используют диск, в котором по окружности в несколько рядов расположены ролики, свободно сидящие на осях. Диск закрепляют на шпинделе металлорежущего станка. При вращении диска ролики наносят по упрочняемой поверхности очень большое количество ударов.

При статическом упрочнении на поверхность заготовки воздействуют вращающимися роликами в процессе обкатывания или раскатывания.

Процесс упрочнения можно выполнять на специальных установках. При ультразвуковом деформационном упрочнении заготовки закрепляют в камерах, содержащих большое количество стальных шариков диаметром 1 мм, смачиваемых эмульсией. Камера получает колебания от ультразвукового генератора, и колеблющиеся шарики наносят удары по поверхности заготовки. Шероховатость поверхности после деформационного упрочнения увеличивается.

Распространено дробеструйное динамическое упрочнение. Готовые детали машин подвергают ударному действию потока дробы в специальных камерах, где дробинки с большой скоростью перемещаются под действием потока воздушной струи или центробежной силы. Эффектом поверхностного упрочнения можно управлять, подавая сухую или мокрую дробь. Дробь изготавливают из отбеленного чугуна, стали, алюминия, стекла и других материалов. Исходная шероховатость обрабатываемой поверхности увеличивается.

Этот метод применяют для таких изделий, как рессорные листы, пружины, лопатки турбин, штоки, штампы.

Эффект деформационного упрочнения повышается при использовании импульсных нагрузок, в частности взрывной волны. При упрочении взрывом необходимы энергоноситель и среда, передающая давление на упрочняемую деталь. В качестве энергоносителя используют бризантные взрывчатые вещества, обеспечивающие как поверхностные, так и сквозные упрочнения деталей.

5.7. Технологические особенности электрофизических и электрохимических методов обработки

Электрофизические и электрохимические методы обработки предназначены в основном для обработки заготовок из очень прочных, весьма вязких, хрупких и неметаллических материалов. Эти методы имеют следующие преимущества:

- отсутствует силовое воздействие инструмента на заготовку (или очень мало и не влияет на суммарную погрешность обработки);
- позволяют менять форму поверхности заготовки и влияют на состояние поверхностного слоя: наклеп обработанной поверхности не образуется, дефектный слой незначителен; повышаются коррозионные, прочностные и другие эксплуатационные характеристики поверхности;
- можно обрабатывать очень сложные наружные и внутренние поверхности заготовок.

Электрофизические и электрохимические методы обработки являются универсальными и обеспечивают непрерывность процессов при одновременном формообразовании всей обрабатываемой поверхности. Эти методы внедряются в различных отраслях промышленности.

Недостаток физико-химических методов – энергоемкость, по сравнению с резанием, поэтому их целесообразно применять в случаях, когда процессы резания малоэффективны.

Все физико-химические методы содержат пять основных видов, каждый из которых состоит из нескольких разновидностей (рис. 104): электроразрядные; электрохимические; ультразвуковые; лучевые; комбинированные.

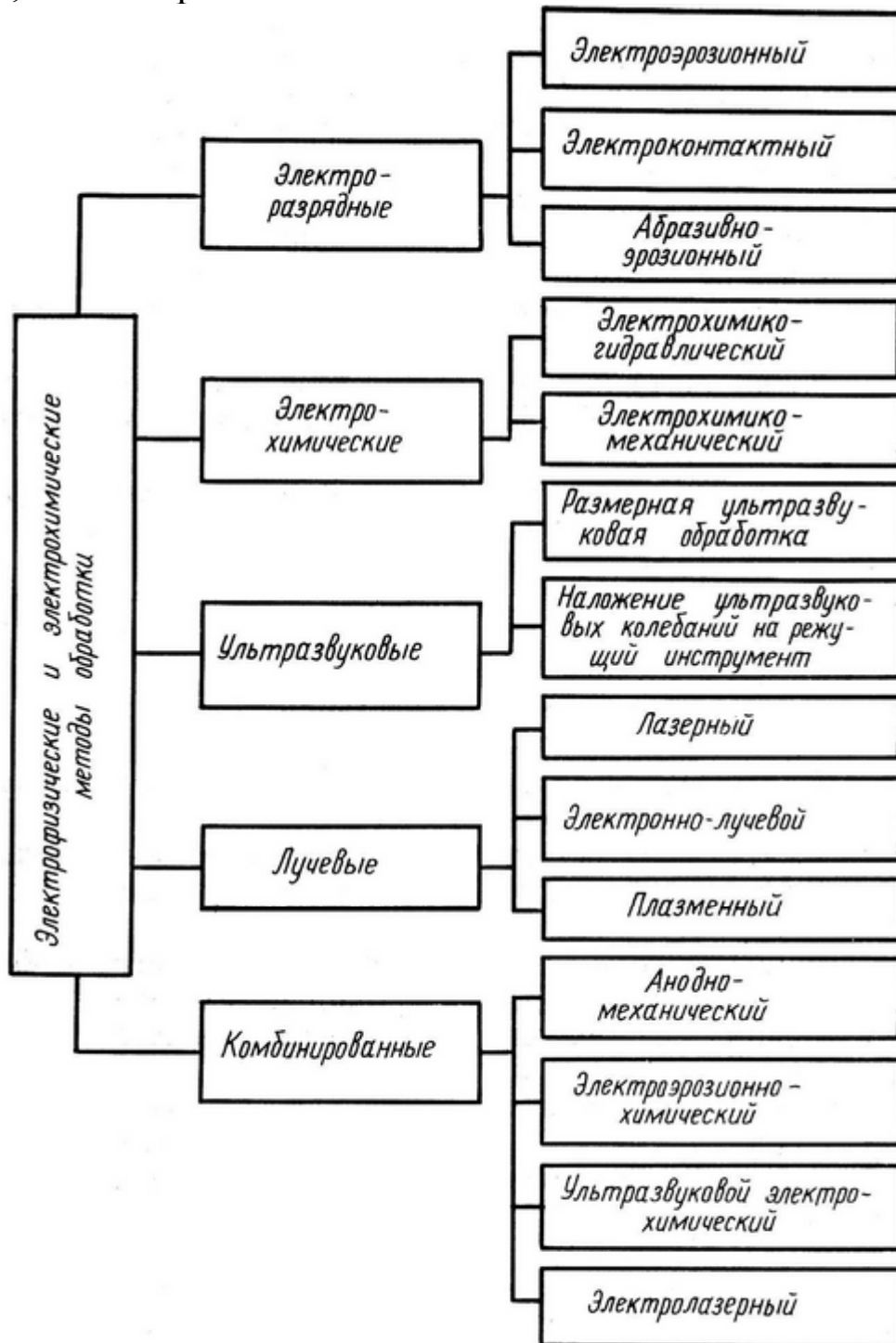


Рис. 104. Основные разновидности физико-химических методов обработки

В этих методах удаление припуска происходит не за счет больших пластических деформаций, как при резании, а путем электрической или химической эрозии.

5.7.1. Электроэрозионные методы обработки

Эти методы основаны на явлении эрозии электродов из токопроводящих материалов при пропускании между ними импульсного электрического тока.

Разряд между электродами происходит в газовой среде или при заполнении межэлектродного пространства диэлектрической жидкостью – керосин, минеральное масло.

При наличии разности потенциалов на электродах происходит ионизация межэлектродного пространства. При определенном значении разности потенциалов образуется канал проводимости, по которому устремляется электроэнергия в виде импульсного искрового или дугового разряда.

На поверхности заготовки температура возрастает до $1000 \div 1200$ °С. Происходит мгновенное оплавление и испарение элементарного объема металла, и на обрабатываемой поверхности образуется лунка.

Удаленный металл застывает в диэлектрической жидкости в виде гранул диаметром $0,010 \div 0,005$ мм.

При непрерывном подведении к электродам импульсного тока процесс эрозии продолжается до тех пор, пока не будет удален весь металл, находящийся между электродами на расстоянии, при котором возможен электрический пробой ($0,01 \div 0,05$ мм) при заданном напряжении.

Для продолжения процесса необходимо сблизить электроды до указанного расстояния. Электроды сближаются автоматически с помощью следящих систем.

5.7.1.1. Электроискровая обработка

Схема электроискровой обработки представлена на рис. 105. При электроискровой обработке используют импульсные искровые разряды между электродами. Обрабатываемая заготовка – анод, а инструмент – катод. Конденсатор C заряжается через резистор R от источника постоянного тока напряжением $100 \div 200$ В. Когда напряжение на электродах 1 и 3 достигает пробойного, образуется канал, через который осуществляется искровой разряд энергии, накопленной конденсатором. Продолжительность импульса $20 \div 200$ мкс.

Режим обработки позволяет получать размеры с точностью обработки до $0,002$ мм и шероховатостью $Ra = 0,63 \div 0,16$ мкм.

Для обеспечения непрерывности процесса обработки необхо-

димом, чтобы зазор был постоянным, поэтому станки снабжаются следящей системой и системой автоматической подачи инструмента.

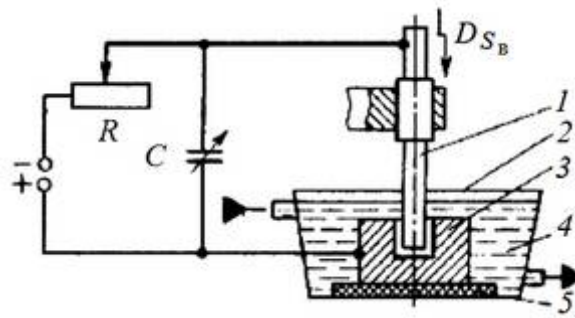


Рис. 105. Схема электроискрового станка:
1 – электрод-инструмент; 2 – ванна; 3 – заготовка-электрод;
4 – диэлектрическая жидкость; 5 – изолятор

Получают сквозные отверстия любой формы поперечного сечения, глухие отверстия и полости, отверстия с криволинейными осями, вырезают заготовки из листа, выполняют плоское, круглое и внутреннее шлифование.

Схемы электроискровой обработки представлены на рис. 106.

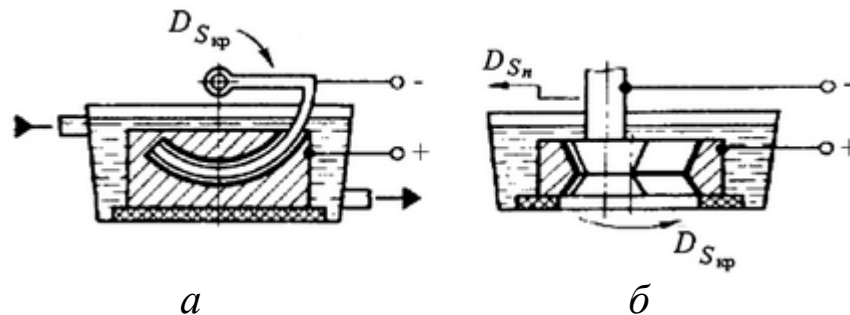


Рис. 106. Схемы электроискровой обработки:
а – прошивание отверстия с криволинейной осью;
б – шлифование внутренней поверхности фильеры

Электроискровую обработку применяют при изготовлении штампов и пресс-форм, фильер, режущего инструмента, а также для упрочнения поверхностного слоя металла, при этом на поверхность изделия наносят тонкий слой металла или композиционного материала. Подобные покрытия повышают твердость, износостойкость, жаростойкость, эрозионную стойкость и т.д.

5.7.1.2. Электроимпульсная обработка

При электроимпульсной обработке используют электрические импульсы большой длительности ($500 \div 10\,000$ мкс), в результате чего происходит дуговой разряд. Большие мощности импульсов от

электронных генераторов обеспечивают высокую производительность обработки.

Электроимпульсную обработку целесообразно применять при предварительной обработке штампов, турбинных лопаток, фасонных отверстий в детали из коррозионностойких и жаропрочных сплавов.

Схема обработки показана на рис. 107.

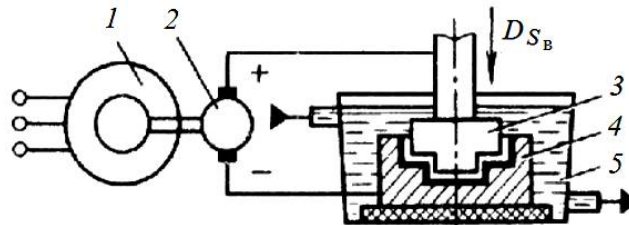


Рис. 107. Схема электроимпульсной обработки:

1 – электродвигатель; 2 – импульсный генератор постоянного тока;
3 – инструмент-электрод; 4 – заготовка-электрод; 5 – ванна

5.7.1.3. Электроконтактная обработка

Электроконтактная обработка (рис. 108) основана на локальном нагреве заготовки в месте контакта с электродом-инструментом и удалении размягченного или расплавленного металла из зоны обработки механическим способом: относительным движением заготовки или инструмента.

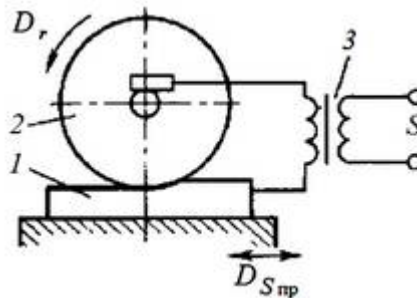


Рис. 108. Схема электроконтактной обработки плоской поверхности:

1 – обрабатываемая заготовка; 2 – инструмент-электрод;
3 – трансформатор

Источником теплоты служат импульсные дуговые разряды. Этот вид обработки рекомендуется для крупных деталей из углеродистых и легированных сталей, чугуна, цветных сплавов, тугоплавких и специальных сплавов.

Метод применяют для зачистки отливок от заливов, отрезки литниковых систем, зачистки проката, шлифования коррозионных деталей из труднообрабатываемых сплавов.

5.7.2. Электрохимическая обработка

Электрохимическая обработка основана на законах анодного растворения металлов при электролизе. При прохождении электрического тока через электролит на поверхности заготовки происходят химические реакции, и поверхностный слой металла превращается в химическое соединение. Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются механическим способом.

Производительность этого способа зависит от электрохимических свойств электролита, обрабатываемого материала и плотности тока.

5.7.2.1. Электрохимическое полирование

Электрохимическое полирование осуществляется в ванне, заполненной электролитом (растворы кислот и щелочей). Обрабатываемую заготовку подключают к катоду (рис. 109). Катодом служит металлическая пластинка из свинца, меди, стали (иногда электролит подогревают).

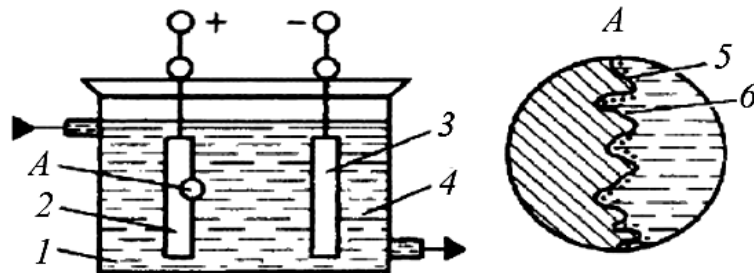


Рис. 109. Схема электрохимического полирования:

1 – ванна; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – пластина-электрод; 4 – электролит; 5 – микровыступ; 6 – продукты анодного растворения

При подаче напряжения начинается процесс растворения металла заготовки (в основном на выступах микронеровностей). В результате избирательного растворения, микронеровности сглаживаются, и обрабатываемая поверхность приобретает металлический блеск.

Улучшаются электрофизические характеристики деталей: уменьшается глубина микротрещин, поверхностный слой не деформируется, исключаются упрочнения и термические изменения структуры, повышается коррозионная стойкость.

Этим методом получают поверхности под гальванические покрытия, доводят рабочие поверхности режущего инструмента, изготавливают тонкие ленты и фольгу, очищают и декоративно отделяют детали.

5.7.2.2. Электрохимическая размерная обработка

Электрохимическая размерная обработка выполняется в струе электролита, прокачиваемого под давлением через межэлектродный промежуток. Электролит растворяет образующиеся на поверхности заготовки-анода соли и удаляет их из зоны обработки. Высокая производительность процесса заключается в том, что одновременно обрабатывается вся поверхность заготовки.

Участки, не требующие обработки, изолируют. Инструменту придают форму, обратную форме обрабатываемой поверхности. Формообразование происходит по методу копирования (рис. 110).

Точность обработки повышается при уменьшении рабочего зазора. Для его контроля используют высокочувствительные элементы, которые встраивают в следящую систему.

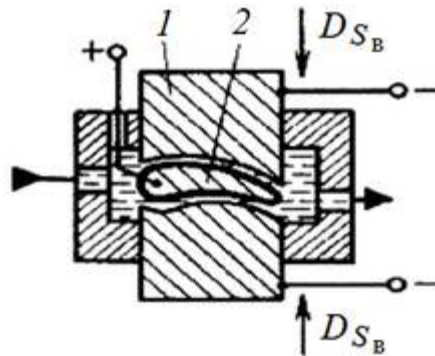


Рис. 110. Схема электрохимической размерной обработки:

1 – инструмент-катод; 2 – заготовка-анод

Этот способ рекомендуют для обработки заготовок из высокопрочных сталей, карбидных и труднообрабатываемых материалов. Также можно обрабатывать тонкостенные детали с высокой точностью и качеством обработанной поверхности (отсутствует давление инструмента на заготовку).

5.7.3. Комбинированные методы обработки

5.7.3.1. Электроабразивная и электроалмазная обработка

При таких видах обработки инструментом служит шлифовальный круг из абразивного материала на электропроводящей связке (бакелитовая связка с графитовым наполнителем).

Между анодом – заготовкой и катодом – шлифовальным кругом имеется зазор, куда подается электролит. Продукты анодного раство-

рения удаляются абразивными зернами; шлифовальный круг имеет вращательное движение, а заготовка – движение подачи, которые соответствуют процессу механического шлифования (рис. 111).

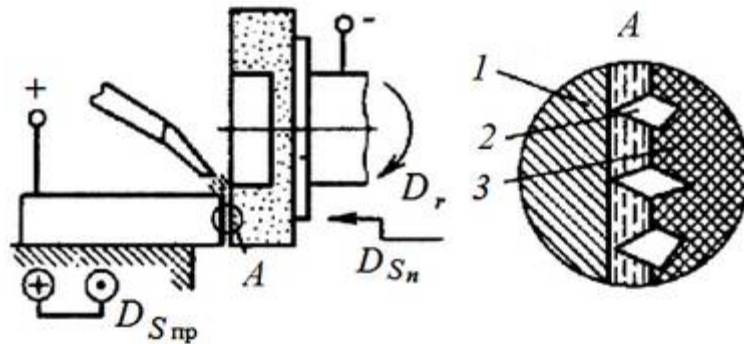


Рис. 111. Схема электроабразивного шлифования:

1 – заготовка; 2 – абразивные зерна; 3 – связка шлифовального круга

Введение в зону резания ультразвуковых колебаний повышает производительность в 2,0÷2,5 раза при улучшении качества поверхности. Эти методы применяются для отделочной обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов, а также нежестких заготовок, так как силы резания незначительны.

5.7.3.2. Анодно-механическая обработка

Анодно-механическая обработка основана на сочетании электротермических и электромеханических процессов и занимает промежуточное место между электроэрозионным и электрохимическим методами.

Заготовку подключают к аноду, а инструмент – к катоду. В качестве инструмента используют металлические диски, цилиндры, ленты, проволоку. Обработку ведут в среде электролита (водный раствор жидкого натриевого стекла). Рабочие движения – как при механической обработке резанием. Электролит в зону обработки подают через сопло (рис. 112).

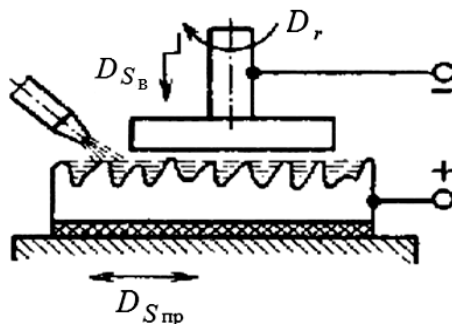


Рис. 112. Схема анодно-механической обработки плоской поверхности

При пропускании через раствор электролита постоянного электрического тока происходит процесс анодного растворения, как при электрохимической обработке.

При соприкосновении инструмента с микронеровностями заготовки происходит электроэрозия, присущая электроискровой обработке. Металл заготовки в месте контакта с инструментом разогревается и разжижается. Продукты электроэрозии и анодного растворения удаляются при относительных движениях инструмента и заготовки.

Анодно-механической обработкойрезают заготовки на части, прорезают пазы и щели, обрабатывают поверхности тел вращения, шлифуют плоские поверхности и поверхности, имеющие форму тел вращения, полируют поверхности, затачивают режущий инструмент, а также этим способом обрабатывают заготовки из высокопрочных и труднообрабатываемых сплавов, вязких материалов.

5.7.4. Лучевые методы обработки

Электронно-лучевая обработка – основана на превращении кинетической энергии направленного пучка электронов в тепловую энергию. Высокая плотность энергии сфокусированного электронного луча позволяет обрабатывать заготовку за счет нагрева, расплавления и испарения материала с локального участка.

Электронный луч образуется за счет эмиссии электронов с нагретого в вакууме катода. Он с помощью электростатических и электромагнитных линз фокусируется на заготовке.

При размерной обработке установка работает в импульсном режиме, что обеспечивает локальный нагрев заготовки.

Электронно-лучевой метод эффективен при обработке отверстий диаметром $1 \div 0,010$ мм, при прорезании пазов, резке заготовок, изготовлении тонких пленок и сеток из фольги, изготовлении заготовок из труднообрабатываемых металлов и сплавов, керамики, кварца, полупроводникового материала.

Лазерная обработка – основана на тепловом воздействии светового луча высокой энергии на поверхность заготовки. Источником светового излучения служит лазер – оптический квантовый генератор.

Энергия светового луча не велика – $20 \div 100$ Дж, но она выделяется в миллионные доли секунды и сосредотачивается в луче диаметром $0,01$ мм. Поэтому температура в зоне контакта $6000 \div 8000$ °С.

Слой металла мгновенно расплавляется и испаряется. С помощью этого метода осуществляется прошивание отверстий, разрезание заго-

товки, прорезание пазов в заготовках из любых материалов (фольга из тантала, вольфрама, молибдена). Также с помощью этого метода можно осуществить контурную обработку по сложному периметру.

5.7.5. Ультразвуковая обработка

Ультразвуковая обработка материалов – разновидность механической обработки, которая основана на разрушении обрабатываемого материала абразивными зёрнами под ударами инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой. Источником энергии служат ультразвуковые генераторы тока с частотой $16 \div 30$ кГц. Инструмент получает колебания от ультразвукового преобразователя.

Заготовку 3 помещают в ванну 1 под инструментом 4 (рис. 113). Инструмент устанавливают на волноводе 5, который закреплен в магнитострикционном сердечнике 7, смонтированном в кожухе 6, сквозь который прокачивают воду для охлаждения сердечника. Для возбуждения колебаний сердечника магнитострикционного преобразователя служат генератор 8 ультразвуковой частоты и источник постоянного тока 9. Абразивную суспензию 2 подают под давлением по патрубку 10 насосом 11, забирающим суспензию из резервуара 12. Прокачивание суспензии насосом исключает оседание абразивного порошка на дно ванны и обеспечивает подачу в зону обработки абразивного материала.

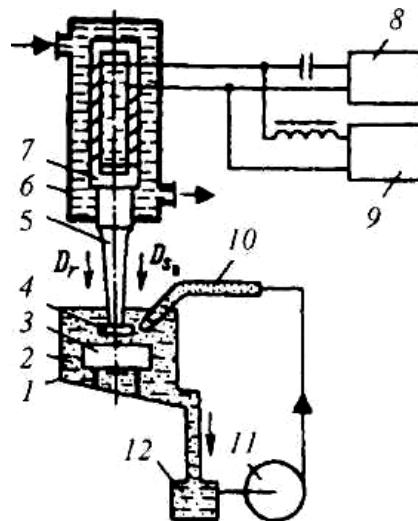


Рис. 113. Схема ультразвукового станка

Ультразвуковым методом обрабатывают хрупкие твердые материалы: стекло, керамику, ферриты, кремний, кварц, драгоценные минералы, в том числе алмазы, твердые сплавы, титановые сплавы, вольфрам.

Метод используют для профилирования наружных поверхностей, гравирования, изготовления деталей сложной формы. Движениями подачи для указанных видов обработки являются вертикальная подача инструмента при обработке отверстий и полостей, продольная подача заготовки при разрезании ее на части, продольная и поперечная подачи заготовки при разрезании ее по сложному контуру. Для управления движениями заготовки и вертикальной подачей инструмента используют системы программного управления.

Ультразвуковым методом обрабатывают сквозные и глухие отверстия любой формы поперечного сечения (рис. 114, *а*, *б*), фасонные полости (рис. 114, *в*), разрезают заготовки на части (рис. 114, *г*), прошивают отверстия с криволинейными осями, нарезают резьбы.

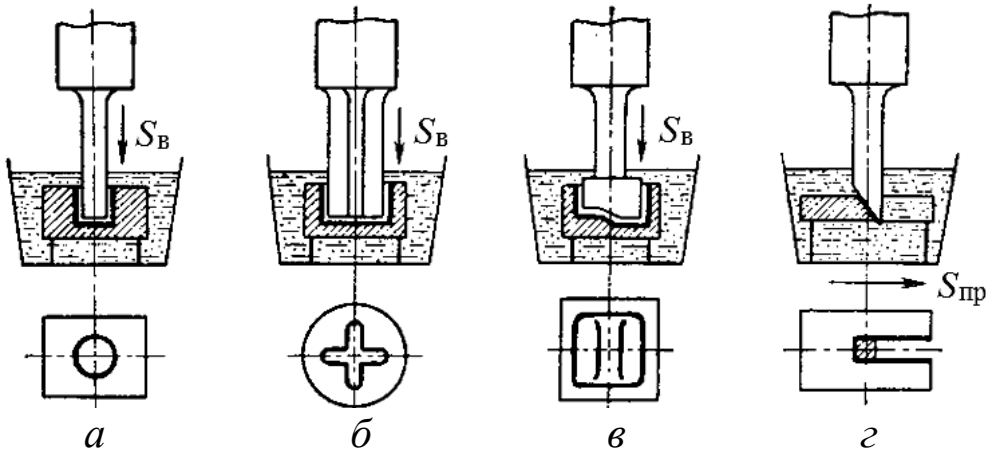


Рис. 114. Схемы ультразвуковой обработки поверхностей заготовок

Внутренние полости обрабатывают пуансонами, форма торцов которых обратна форме обрабатываемой поверхности. Инструменты изготовляют из закаленных и вязких материалов.

Использование ультразвуковых колебаний оказалось эффективным и при обычных способах механической обработки (точении, фрезеровании и др.). Наложение ультразвуковых колебаний малых амплитуд ($2 \div 5$ мкм) на режущий инструмент (например, резец) в направлении главного движения резания существенно изменяет характер стружкообразования. Значительно снижается зона первичной и вторичной деформации срезаемого слоя металла, уменьшаются глубина и степень наклепа обработанной поверхности. Ультразвуковые колебания почти полностью устраняют процессы наростообразования. Все это приводит к улучшению условий резания, снижению сил трения и повышению качества поверхностного слоя.

5.7.5. Плазменная обработка

Сущность *плазменной обработки* заключается в том, что плазму направляют на обрабатываемую поверхность.

Плазменная струя представляет собой направленный поток частично или полностью ионизированного газа, имеющего температуру $10\ 000 \div 20\ 000$ °С.

Плазму получают в плазменных горелках, пропуская газ через столб сжатой дуги. В качестве плазмообразующих газов используют азот, аргон, водород, гелий, воздух и их смеси.

С помощью этого метода прошиваются отверстия, вырезаются заготовки из листового материала, производится точение в заготовках из любых материалов.

При прошивании отверстий и разрезке головку устанавливают перпендикулярно к поверхности заготовки, при строгании и точении – углом $40 \div 60^\circ$.

Плазменное напыление. Этот вид обработки осуществляется с целью получения заданных размеров.

В камеру плазматрона подается порошкообразный конструкционный материал и инертный газ под давлением.

Под действием дугового разряда конструкционный материал плавится и переходит в состояние плазмы, струя плазмы сжимается в плазматроне газом. Выходя из сопла, струя направляется на обрабатываемую заготовку.

5.8. Дефекты, возникающие при механической обработке деталей

В деталях в результате холодной деформации металла, например при сверлении или развертывании отверстий тупым инструментом, могут возникнуть неглубокие трещины, называемые надрывами. Вероятность образования надрывов особенно велика в случае недостаточной пластичности металлов и сплавов. Кроме того, надрывы могут образоваться при холодной штамповке и горячей деформации (ковке, штамповке, протяжке с большой степенью деформации).

В процессе шлифования закаленных высокоуглеродистых и легированных возникают шлифовочные трещины, представляющие собой группу мелких и тонких разрывов, как правило, в виде сетки на шлифованной поверхности металла.

При шлифовании трещины возникают по двум причинам:

– из-за неправильного режима термообработки деталей, например, очень резкого охлаждения, приводящего к значительным внутренним напряжениям. В этом случае достаточно даже небольших дополнительных напряжений термического и механического происхождения, получающихся в поверхностном слое при шлифовании абразивными кругами, чтобы появились поверхностные шлифовочные трещины;

– вследствие местного перегрева металла при нарушении режимов шлифования – применении неподходящего для данного материала или «засаленного» круга, чрезмерном повышении подачи (давления), скорости шлифования (продолжительной задержке круга на одном месте) или недостаточном охлаждении. Чрезмерные местные перегревы поверхностного слоя закаленных сталей, обладающих пониженным коэффициентом теплопроводности, вызывают в нем высокие внутренние напряжения вследствие неравномерных объемных изменений при чередующемся нагреве и охлаждении. Эти напряжения приводят к образованию сетки шлифовочных трещин.

У малоуглеродистых сталей, обладающих более высоким коэффициентом теплопроводности и повышенными пластическими свойствами, образование трещин при шлифовке маловероятно.

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК

Агломерация – термический способ окускования мелких материалов, чаще всего рудной шихты (рудной мелочи и концентратов, пылевидных руд, колошниковой пыли), для улучшения их металлургических свойств, осуществляемый обычно путем сжигания мелкого топлива в самом материале за счет непрерывного прососа воздуха; часто в агломерационную шихту вводят флюсы (известняк).

Волочение – процесс пластической деформации металла, заключающийся в протягивании заготовки через отверстие волокна, размеры которого меньше размеров поперечного сечения заготовки.

Выход годного – отношение массы готовых изделий к массе заготовок (исходных материалов), использованных для получения этих изделий.

Гибка – формоизменяющая операция обработки металлов давлением, предназначенная для образования или изменения углов между частями заготовки, а также для придания заготовке криволинейной формы.

Губчатое железо – пористый кусковой или пылевидный продукт, получаемый в твердом виде непосредственно из железорудных материалов восстановлением содержащихся в них оксидов железа оксидом углерода, водородом или углеродом.

Дрессировка – холодная прокатка с малыми обжатиями, обеспечивающая упрочнение поверхностного слоя металла без деформации внутренних слоев.

Единое производство – широкая номенклатура изделий и малый объем их выпуска. В основном используется универсальное оборудование, инструмент и оснастка. Низкая производительность и высокая себестоимость. Высокая квалификация рабочих.

Засыпной аппарат – устройство, предназначенное для загрузки сыпучих материалов в шахтные печи (доменные, обжиговые и др.). Шихта в засыпной аппарат подается скипами или транспортерами.

Зональная ликвация – ликвация в отдельных частях слитка или изделия.

Износостойкость – это свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания. Износостойкость зависит от состава и структуры обрабатываемого материала, исходной твердости, шероховатости и технологии обработки детали, состояния ответной детали.

Карта эскизов и схем наладок содержит эскизы, схемы, таблицы, необходимые для выполнения ТП, операции, перехода. Деталь на эскизе располагают в рабочем положении обработки на станке, инструмент указывают в конце обработки поверхности заготовки.

Катанка – круглый горячекатаный мелкосортный прокат диаметром 5÷10 мм, преимущественно применяемый в качестве заготовки для холодного волочения.

Коробление – искажение формы изделия вследствие действия внутренних напряжений, образующихся из-за неравномерной деформации по длине и ширине заготовки.

Крица – твердая губчатая масса железа (с низким содержанием углерода, серы, фосфора и кремния) со шлаковыми включениями, заполняющими поры и полости.

Ликвация – неоднородность сплава по химическому составу, структуре и неметаллическим включениям, образующаяся при кристаллизации слитка.

Литье – получение изделий путем заливки расплавленных материалов в литейную форму.

Маршрутная карта содержит описание ТП изготовления и контроля изделий по всем операциям в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах.

Массовое производство – узкая номенклатура и большой объем выпуска. Специальное оборудование, инструмент и оснастка, максимальная автоматизация и механизация. Самая низкая себестоимость и высокая производительность (поточное производство).

Метизы (сокр. от металлические изделия) – стандартизованные металлические изделия разнообразной номенклатуры. К метизам промышленного назначения относят стальную холоднокатаную ленту, стальную проволоку и изделия из нее, крепежные детали и т.д.

Наклеп – изменение структуры и свойств металлов и сплавов в результате пластической деформации при частичном или полном подавлении рекристаллизации; сопровождается повышением твердости и прочности, понижением пластичности и ударной вязкости. Упрочнение металлов и сплавов пластическим деформированием.

Операционная карта содержит описание операций ТП изготовления изделия с расчленением всех операций по переходам и указанием режимов работы и данных о средствах технологического оснащения (оборудование и оснастка).

Отливка – заготовка или деталь, получаемая в литейной форме из жидкого металла, сплава, шлака и т.д.

Плакирование – нанесение на поверхность металлических изделий тонкого слоя другого металла или сплава с помощью горячей прокатки, горячего прессования или взрывом.

Переходом называется законченная часть операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и оснастки, при одних и тех же режимах обработки и положения изделия. Если эта часть операции не сопровождается обработкой, но необходима для выполнения данной операции (установка, снятие, замена инструмента, контроль), то такой переход называется вспомогательным переходом.

Приемом называют законченное действие рабочего, направленное на выполнение элементов ТП.

Под – элемент конструкции печи, на котором располагаются материалы и изделия, подвергаемые тепловой обработке.

Порошковая металлургия – производство металлических порошков и спеченных изделий из них, а также из композиций металлов с неметаллами. Методы порошковой металлургии позволяют получать такие материалы и изделия, которые невозможно получить путем плавки, либо материалы и изделия с обычными свойствами, но экономически более выгодным путем.

Правка – формообразующая операция обработки металлов давлением, выполняемая с целью устранения или уменьшения дефектов формы металлических изделий или полуфабрикатов.

Припуск – слой металла, снимаемый при механической обработке.

Прокат – продукция прокатного производства в виде изделий из черных и цветных металлов и сплавов, полученных методом горячей, теплой или холодной прокатки.

Прокатка – процесс обработки металлов давлением путем обжатия между двумя или более прокатными валками с целью уменьшения поперечного сечения прокатываемой заготовки (слитка), увеличения ее длины и придания требуемой формы.

Пустая порода – это такие минералы, которые не вносят серьезных технологических осложнений в металлургическую переработку и легко отделяются от рудных минералов в процессе обогащения или переходят в шлаки при плавке.

Рабочий ход – часть перехода, осуществляемая при одном рабочем перемещении инструмента в направлении подачи. За один проход снимается один слой металла.

Режим – совокупность параметров реализации ТП (длительность, температура, давление и пр.).

Руды – горные породы, которые технически возможно и экономически целесообразно перерабатывать для извлечения содержащихся в них металлов.

Серебрянка – круглая сталь диаметром $0,2 \div 30$ мм со специальной обработкой поверхности (шлифование, полирование) и повышенной точностью размеров.

Серийное производство – ограниченная номенклатура изделий, изготавливаемых периодически повторяющимися партиями и сравнительно большим объемом выпуска. Используют универсальные станки с быстро переналаживаемой или специальной оснасткой, специальный инструмент. Высокая производительность, низкая себестоимость, на большинстве операций не требуется высокая квалификация рабочих. Подразделяется на мелко-, средне- и крупносерийное.

Синеломкость – снижение пластичности стали при одновременном повышении прочности, характерное для деформации при температурах возникновения синего цвета побежалости ($200 \div 300$ °С).

Скип – автоматически разгружающийся сосуд (короб) для подъема сыпучих материалов.

Теплостойкость – свойство сохранять твердость и режущие свойства при высоких температурах.

Технологический процесс (ТП) – часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства. Он непосредственно связан с изменением свойств материала, размеров, формы и других показателей предмета производства. ТП состоит из технологических операций, связанных определенной последовательностью. Например, ТП термообработки может состоять из следующих технологических операций: отжиг, закалка, отпуск, очистка, контроль твердости, т.е. последовательно изменяются свойства материала с целью получения заданных свойств (твердость).

Технологической операцией называют законченную часть ТП, выполняемую на одном рабочем месте одним или группой рабочих. В операцию входят как действия непосредственно связанные с обработкой, так и необходимые вспомогательные операции, которые называются переходами, ходами, установками, приемами и др.

Угар – потери металла в результате окисления при плавке или при нагреве.

Упрочнение – повышение прочности материала или изделия в результате ТП или при эксплуатации.

Упрочнение объемное – упрочнение, достигаемое по всему сечению заготовки или изделия.

Упрочнение поверхностное – упрочнение поверхностного слоя за счет изменения его состава или структуры.

Установ – часть операции, выполняемая при одном неизменном закреплении обрабатываемой заготовки.

Фурма (форма) – устройство для подачи воздушного дутья в металлургические печи или для продувки металлической ванны кислородом при выплавке стали или цветных металлов.

Штамповка – способ обработки металлов давлением, при котором формообразование металла осуществляется в результате пластического нормирования в полостях штампа при взаимодействии его частей под действием внешних сил. Изделие, изготовленное штамповкой.

Штамповка горячая – штамповка с предварительным нагревом заготовки до температуры выше температуры рекристаллизации.

Штамповка закрытая – штамповка в закрытых штампах без образования облоя по периметру поковки.

Штамповка листовая – штамповка с использованием в качестве заготовки листового проката.

Штамповка объемная – штамповка с использованием в качестве заготовки мерной части сортового проката круглого, квадратного или прямоугольного профиля.

Штамповка открытая – штамповка в открытых штампах с образованием заусенцев по периметру поковки.

Штамповка холодная – штамповка без предварительного нагрева заготовки, осуществляемая при температуре ниже температуры рекристаллизации.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жадан, В. Т. Материаловедение и технология металлов / В. Т. Жадан, П. И. Полухин, А. Ф. Нестеров [и др.]. – М. : Металлургия, 1994.
2. Дальский, А. М. Технология конструкционных материалов : учеб. для вузов / А. М. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. М. Барсукова [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. – 5-е изд. – М. : Машиностроение, 2004.
3. Кечин, В. А. Проектирование и производство литых заготовок / В. А. Кечин, Г. Ф. Селихов, А. Н. Афонин. – Владимир : ВлГУ, 2002.
4. Колесов, С. И. Материаловедение и технология металлов / С. И. Колесов, И. С. Колесов. – М. : Высш. шк., 2004.
5. Политехнический словарь / гл. ред. А. Ю. Ишлинский. – М. : Сов. энцикл., 1989.
6. Солнцев, Ю. П. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. для вузов / Ю. П. Солнцев, В. А. Веселов, В. П. Демянцевич [и др.]. – М. : МИСИС, 1996.
7. Таранцева, К. Р. Технология конструкционных материалов / К. Р. Таранцева, В. Б. Моисеев, А. Г. Схиртладзе [и др.]. – М. : Машиностроение, 2001.
8. Трухов, А. П. Литейные сплавы и плавка / А. П. Трухов, А. И. Маляров. – М. : Издат. центр «Академия», 2004.
9. Усова, Л. Ф. Технология металлов и материаловедение / Л. Ф. Усова [и др.] ; под ред. Л. Ф. Усовой. – М. : Металлургия, 1987.
10. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин [и др.] ; под ред. Г. П. Фетисова. – М. : Высш. шк., 2006.
11. Шатерин, М. А. Технология конструкционных материалов / М. А. Шатерин [и др.] ; под ред. М. А. Шатерина. – СПб. : Политехника, 2003.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ...	6
1.1. Современное металлургическое производство и его продукция	6
1.2. Материалы для производства металлов и сплавов	7
1.3. Производство чугуна	8
1.3.1. Выплавка чугуна	10
1.3.2. Продукты доменной плавки	14
1.3.3. Важнейшие технико-экономические показатели работы доменных печей	14
1.4. Процессы прямого получения железа из руд	15
1.5. Производство стали	17
1.5.1. Способы выплавки стали	19
1.5.1.1. Производство стали в мартеновских печах	19
1.5.1.2. Производство стали в кислородных конвертерах	22
1.5.1.3. Производство стали в электропечах	24
1.5.2. Разливка стали	27
1.5.3. Строение стального слитка	29
1.5.4. Способы повышения качества стали	31
1.6. Производство цветных металлов	33
2. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	37
2.1. Классификация литых заготовок	37
2.2. Литейные свойства сплавов	38
2.3. Литейные сплавы	40
2.4. Способы изготовления отливок	41
2.4.1. Изготовление отливок в песчаных формах	42
2.4.1.1. Приготовление формовочных и стержневых смесей	45
2.4.1.2. Приготовление формовочных смесей	46
2.4.1.3. Стержневая смесь	47
2.4.1.4. Модельный комплект	47
2.4.1.5. Изготовление литейных форм	48
2.4.1.6. Изготовление стержней	53
2.4.1.7. Приготовление расплава	53
2.4.1.8. Сборка и заливка литейной формы	54
2.4.1.9. Охлаждение, выбивка и очистка отливок	54

2.4.2.	Специальные способы литья	55
2.4.2.1.	Литье в оболочковые формы	55
2.4.2.2.	Литье по выплавляемым моделям	57
2.4.2.3.	Литье в металлические формы	59
2.4.2.4.	Центробежное литье	60
2.4.2.5.	Литье под давлением	62
2.4.2.6.	Электрошлаковое литье	64
2.4.2.7.	Изготовление отливок непрерывным литьем	65
2.5.	Особенности изготовления отливок из различных сплавов	65
2.6.	Дефекты отливок	67
3.	ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ	69
3.1.	Классификация процессов обработки давлением	69
3.2.	Схемы напряженного и деформированного состояний	70
3.3.	Закономерности обработки давлением	72
3.4.	Технологические свойства	74
3.5.	Прокат и его производство	76
3.5.1.	Способы прокатки	77
3.5.2.	Технологический процесс (ТП) прокатки	78
3.5.3.	Правка проката	82
3.5.4.	Разрезка и заготовительная обработка проката	83
3.5.5.	Продукция прокатного производства	84
3.6.	Прессование	86
3.7.	Волочение	88
3.8.	Ковка	90
3.8.1.	Операции ковки	91
3.8.2.	Оборудование для ковки	96
3.9.	Горячая объемная штамповка (ГОШ)	97
3.9.1.	Формообразование при ГОШ	98
3.9.2.	Технологический процесс (ТП) ГОШ	100
3.9.3.	Оборудование для ГОШ	103
3.10.	Холодная штамповка	110
3.10.1.	Объемная холодная штамповка	111
3.10.2.	Листовая штамповка	114
3.10.3.	Высокоскоростные методы штамповки	121
3.11.	Формообразование заготовок из порошковых материалов	122

3.12. Дефекты деформированного металла	125
4. СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	128
4.1. Сварка плавлением	130
4.1.1. Дуговая сварка	130
4.1.2. Плазменная сварка	134
4.1.3. Электрошлаковая сварка	135
4.1.4. Лучевые способы сварки	136
4.1.5. Газовая сварка	138
4.2. Сварка давлением	139
4.2.1. Контактная сварка	139
4.2.2. Диффузионная сварка	140
4.2.3. Сварка трением	142
4.2.4. Сварка взрывом	142
4.2.5. Ультразвуковая сварка	143
4.3. Тип сварного соединения	144
4.4. Специальные термические процессы в сварочном производстве	145
4.5. Дефекты сварных соединений	148
5. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ	150
5.1. Классификация движений в металлорежущих станках	150
5.2. Режимы резания, шероховатость поверхности	151
5.3. Классификация металлорежущих станков	152
5.4. Технологические возможности способов резания	154
5.4.1. Точение	154
5.4.2. Сверление	160
5.4.3. Протягивание	161
5.4.4. Фрезерование	163
5.4.5. Стругание и долбление	164
5.4.6. Нарезание резьбы	165
5.4.7. Нарезание зубчатых колес	165
5.4.8. Шлифование	167
5.5. Технологические методы отделочной (финишной) обработки поверхностей деталей машин	169
5.5.1. Хонингование	170
5.5.2. Суперфиниширование	170
5.5.3. Полирование	171
5.5.4. Отделочно-зачистная обработка деталей	172
5.5.5. Абразивно-жидкостная отделка	173

5.6. Технологические особенности методов обработки заготовок без снятия стружки	174
5.6.1. Чистовая обработка пластическим деформированием	174
5.6.2. Обкатывание и раскатывание поверхностей	175
5.6.3. Алмазное выглаживание	177
5.6.4. Калибровка отверстий	178
5.6.5. Обкатывание зубчатых колес	179
5.6.7. Накатывание резьб, шлицевых валов и зубчатых колес	179
5.6.8. Накатывание рифлений и клейм	181
5.6.9. Упрочняющая обработка поверхностных слоев деталей	182
5.7. Технологические особенности электрофизических и электрохимических методов обработки	183
5.7.1. Электроэрозионные методы обработки	185
5.7.1.1. Электроискровая обработка	185
5.7.1.2. Электроимпульсная обработка	186
5.7.1.3. Электроконтактная обработка	187
5.7.2. Электрохимическая обработка	188
5.7.2.1. Электрохимическое полирование	188
5.7.2.2. Электрохимическая размерная обработка	189
5.7.3. Комбинированные методы обработки	189
5.7.3.1. Электроабразивная и электроалмазная обработка .	189
5.7.3.2. Анодно-механическая обработка	190
5.7.4. Лучевые методы обработки	191
5.7.5. Ультразвуковая обработка	192
5.7.6. Плазменная обработка	194
5.8. Дефекты, возникающие при механической обработке деталей	194
ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК	196
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	201

Дубинкин Дмитрий Михайлович

Дубов Георгий Михайлович

Рыжикова Людмила Витальевна

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Редактор О. А. Вейс

Подписано в печать 30.06.2010. Формат 60×84/16

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе

Уч.-изд. л. 12,00. Тираж 390 экз. Заказ

Кузбасский государственный технический университет

650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28

Типография Кузбасского государственного технического университета

650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А