

# **ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**СКИФ**



**Кафедра «Автотранспортные, строительные и  
дорожные средства»**

**Лекционный курс**

**Авторы**

**Смирнов И.И.,**

**Смирнов И.И., Кротова К.В.**

## Аннотация

Содержание настоящего курса лекций соответствует объему, изучаемому студентами специальностей дорожно-транспортного факультета ДГТУ.

Настоящий курс лекций следует рассматривать как краткое изложение программных вопросов курса, облегчающее усвоение учебного материала и подготовку к зачету. Пользование конспектом ни в коем случае не исключает подготовки по учебникам, а лишь выделяет основные положения, соответствующие курсу "Технология конструкционных материалов" по машиностроительным и механическим специальностям. В ряде мест конспекта приводятся указания на вопросы, которые необходимо подготовить только по учебникам, так как, за краткостью изложения, в конспект они не вошли. Это касается, главным образом, описательной стороны курса.

## Авторы

Смирнов Иван Иванович – к.т.н., доцент, доцент  
кафедры «АСиДС»

Смирнов Иван Иванович – инженер

Кротова Кристина Вадимовна – аспирант

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
Лекция 1: «Основы металлургического производства» .....	5
Современное металлургическое производство.....	5
Производство чугуна.....	7
Производство стали.....	11
Лекция 2: «Литейное производство» .....	24
Сущность литейного производства .....	24
Литье в песчаные формы .....	26
Специальные способы литья .....	29
Дефекты отливок и их исправление .....	37
Лекция 3: «Технология обработки давлением».....	39
Теоретические основы обработки давлением .....	39
Основные способы ОМД .....	41
Лекция 4: «Технология обработки давлением» (продолжение).....	53
Горячая объемная штамповка .....	53
Холодная штамповка .....	55
Высокоскоростные методы штамповки .....	59
Формообразование заготовок из порошковых материалов .....	60
Лекция 5: «Сварка и пайка металлов» .....	63
Сущность и классификация сварки .....	63
Термические виды сварки .....	63
Термомеханические способы сварки .....	70
Пайка металлов .....	73
Список использованной литературы.....	76

## Введение

Достижения промышленности в любом развитом обществе неизменно связаны с достижениями технологии конструкционных материалов. Качество обработки и производительности изготовления изделий являются важнейшими показателями уровня развития государства.

Учебная дисциплина «Технология конструкционных материалов» посвящена изучению методов получения материалов и формирования из них заготовок, деталей и изделий.

Цель дисциплины – вооружить выпускников знаниями и умениями, позволяющими при конструировании обоснованно выбирать материалы и форму изделия, учитывая при этом требования технологичности, а также влияние технологических методов получения и обработки заготовок на качество деталей.

Основная задача дисциплины – изучение студентами физико-химических основ и технологических особенностей процессов получения и обработки материалов, принципов устройства типового оборудования, инструментов и приспособлений, технико-экономических и экологических характеристик технологических процессов и оборудования, а также областей их применения.

## Лекция 1: «Основы металлургического производства»

Вопросы лекции:

1.1 Современное металлургическое производство.

1.2 Производство чугуна.

1.3 Производство стали.

### Современное металлургическое производство

Современное металлургическое производство представляет собой комплекс различных производств, базирующихся на месторождениях руд и коксующихся углей, энергетических комплексах. Оно 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 цеха для получения сжатого воздуха (для дутья доменных печей), кислорода, очистки металлургических газов;
- доменные цеха для выплавки чугуна и ферросплавов или цеха для производства железорудных металлизированных окатышей;
- заводы для производства ферросплавов;
- сталеплавильные цеха (конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные);
- прокатные цеха (слиток в сортовой прокат).

Основная продукция чёрной металлургии:

- чугуны: передельный, используемый для переплавки 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,
- стальные слитки для изготовления крупных кованных валов, дисков (кузнечные слитки).

Основная продукция цветной металлургии:

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

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

Технология конструкционных материалов

**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).

В зависимости от содержания добываемого элемента различают руды богатые и бедные. Бедные руды обогащают – удаляют часть пустой породы.

**Флюсы** – материалы, загружаемые в плавильную печь в виде агломерата и окатышей, 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) 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 разлива медных сплавов.

## 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...60 %, месторождения – Соколовское, Курская магнитная аномалия (КМА);

– красный железняк ( $Fe_2O_3$ ) с содержанием железа 55...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...55 % – Керчь.

Марганцевые руды применяются для выплавки сплава железа с марганцем – ферромарганца (10...82 %  $Mn$ ), 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 – измельчённую руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы и отделяющего их от пустой породы.

Технология конструкционных материалов

**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 измельчённых 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.

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

Схема работы доменного цеха представлена на рис. 1.1.

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:

1. Восстановление железа из окислов руды, науглероживание его и удаление в виде жидкого чугуна определённого химического состава.
2. Оплавление пустой породы руды, образование шлака, растворение в нём золы кокса и удаление его из печи.

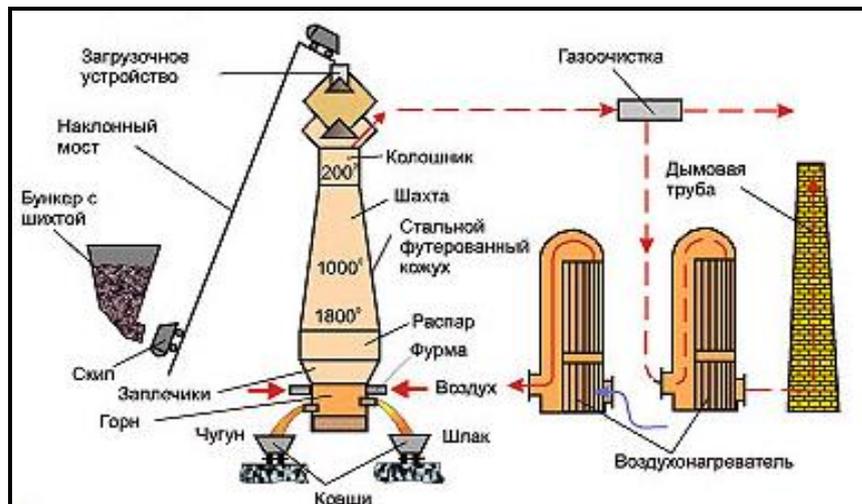


Рис. 1.1.

Доменная печь (рис. 1.1) имеет стальной кожух, футерованный огнеупорным шамотным кирпичом. Рабочее пространство печи включает колошник, шахту, распар, заплечики, горн.

## Технология конструкционных материалов

В верхней части колошника находится загрузочное устройство, через который в печь загружают шихту. Шихту подают в вагонетки подъемника (скипы), которые передвигаются по мосту к загрузочному устройству и, опрокидываясь, высыпаят шихту в приемную воронку распределителя шихты. При опускании малого конуса шихта попадает в чашу, а при опускании большого конуса – в доменную печь, что предотвращает выход газов из доменной печи в атмосферу.

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 основания до нижней кромки большого конуса загрузочного устройства при его опускании.

Полезная высота доменной печи (H) достигает 35 м, а полезный объем – 2000...5000 м<sup>3</sup>.

В верхней части горна находятся фурменные устройства, 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 имеются 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...1200 °С и поступает к фурменному устройству, а оттуда через фурмы – в рабочее пространство печи. После охлаждения насадок нагреватели переключаются.

В результате горения топлива выделяется большое количество теплоты, в печи выше уровня фурм развивается температура выше 2000 °С.

Продукты сгорания взаимодействуют с раскаленным коксом и образуется смесь восстановительных газов, в которой окись углерода 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, нагревают их и охлаждаются 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 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.

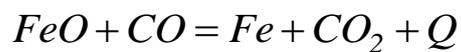
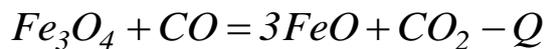
Восстановителями оксидов железа являются твердый углерод, оксид углерода и водород.

Технология конструкционных материалов

Восстановление твердым углеродом (коксом) называется **прямым восстановлением**, протекает в нижней части печи (зона распара), где более высокие температуры, по реакции:



Восстановление газами ( $C$  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  $CaO, Al_2O_3, MgO, MnO, FeO, CaS, SiO_2$ . 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 часа через чугунную летку, а шлак – каждые 1...1,5 часа через шлаковую летку (летка – отверстие в кладке, расположенное выше основания).

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.

## Производство стали

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

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

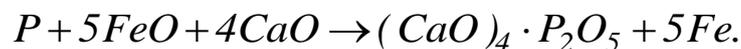
Содержание углерода и примесей в стали значительно ниже, чем в чугуне. Поэтому сущность любого металлургического передела чугуна в сталь – снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

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  $(FeO)_3 \cdot P_2O_5$ . 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:

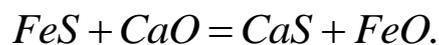


Для окисления углерода в металл вводят незначительное количество руды, окалины или вдувают кислород.

Технология конструкционных материалов

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, растворённого 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. Ферромарганец, ферросилиций и алюминий в измельчённом виде загружают на поверхность шлака. Раскислители, восстанавливая оксид железа, уменьшают его содержание в шлаке. Следовательно, оксид железа, растворённый в стали переходит в шлак. Образующиеся при этом 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:

- а) спокойные,
- б) кипящие,
- в) полуспокойные.

Спокойная сталь получается при полном раскислении в печи и ковше.

Технология конструкционных материалов

Кипящая сталь раскислена в печи неполностью. Ее раскисление продолжается в изложнице при затвердевании слитка, благодаря взаимодействию оксида железа и углерода:  $FeO + C = Fe + CO$ .

Образующийся оксид углерода  $CO$  выделяется из стали, способствуя удалению из стали азота и водорода, газы выделяются в виде пузырьков, вызывая её 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 ( $Mo, Ni, Co, Cu$ ), при плавке и разливке не окисляются, поэтому их вводят в любое время плавки. Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду больше, чем у железа ( $Mn, Si, Al, Cr, V, Ti$ ), вводят в металл после раскисления или одновременно с ним в конце плавки, а иногда в ковш.

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

Мартеновская печь (рис.1.2.) по устройству и принципу работы является пламенной отражательной регенеративной печью. Вместимость печи составляет 200...900 т. В плавильном пространстве сжигается газообразное топливо или мазут. Высокая температура для получения стали в расплавленном состоянии обеспечивается регенерацией тепла печных газов.

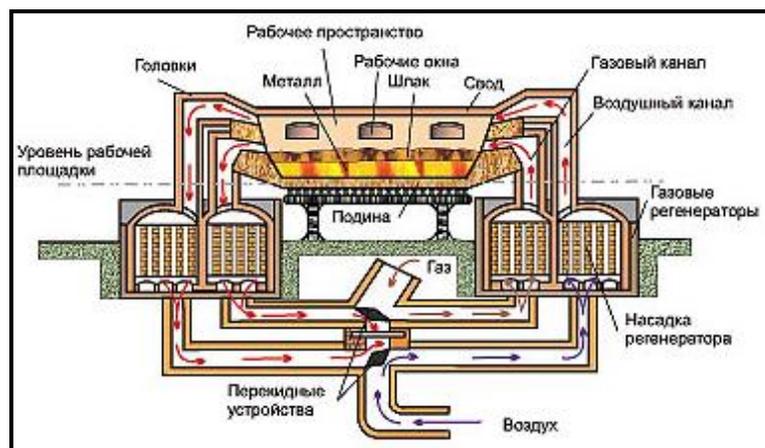


Рис. 1.2

Современная мартеновская печь представляет собой вытянутую в горизонтальном направлении камеру, сложенную из огнеупорного кирпича. Рабочее плавильное пространство ограничено снизу подиной, сверху сводом, а с

## Технология конструкционных материалов

боков передней и задней стенками. Подина имеет форму ванны с откосами по направлению к стенкам печи. В передней стенке имеются загрузочные (рабочие) окна для подачи шихты и флюса, а в задней – отверстие 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, 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.

Регенератор – камера, в которой размещена насадка – огнеупорный кирпич, выложенный в клетку, предназначен для нагрева воздуха и газов.

Отходящие от печи газы имеют температуру 1500...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, направленный на шихту.

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.

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 часов, для крупных печей – до 12 часов. 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.

## Технология конструкционных материалов

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, ее используют для особо ответственных деталей: коленчатых валов крупных двигателей, роторов мощных турбин, шарикоподшипников.

Основными технико-экономическими показателями производства стали в мартеновских печах являются:

- производительность печи – съем стали с  $1\text{ м}^2$  площади пода в сутки ( $\text{т}/\text{м}^2$  в сутки), в среднем составляет  $10\ \text{т}/\text{м}^2$ ;

- расход топлива на 1т выплавляемой стали, в среднем составляет 80 кг/т.

С укрупнением печей увеличивается их экономическая эффективность.

Производство стали в кислородных конвертерах – выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом через водоохлаждаемую фурму. В настоящее время способ является основным в массовом производстве стали.

Кислородный конвертер – сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом. Вместимость конвертера – 130...350 т жидкого чугуна. В процессе работы конвертер может поворачиваться на  $360^\circ$  для загрузки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака.

Технология конструкционных материалов

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. 1.3.

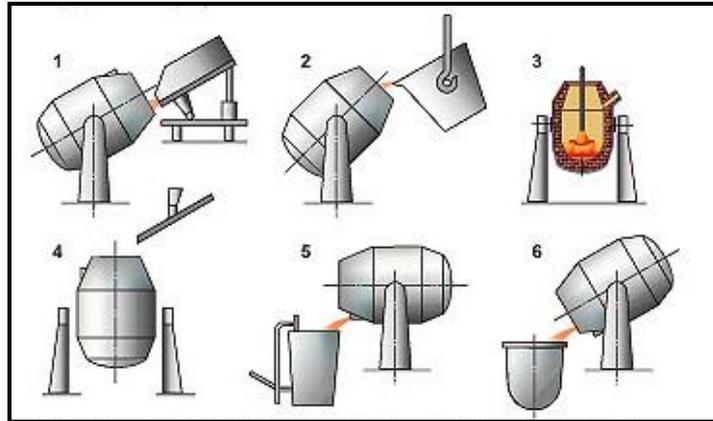


Рис. 1.3

После очередной плавки стали выпускное отверстие заделывают огнеупорной массой и осматривают футеровку, ремонтируют.

Перед плавкой конвертер наклоняют, с помощью завалочных машин загружают скрап рис. (1.3, 1), заливают чугун при температуре 1250...1400 °С (рис. 1.3, 2).

После этого конвертер поворачивают в рабочее положение (рис. 1.3, 3), внутрь вводят охлаждаемую фурму и через нее подают кислород под давлением 0,9...1,4 МПа. Одновременно с началом продувки загружают известь, боксит, железную руду (рис. 1.3, 4). Кислород проникает в металл, вызывает его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Под фурмой развивается температура 2400 °С. 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. 1.3, 5), где раскисляют осаждающим методом ферромарганцем, ферросилицием и алюминием, затем сливают шлак (рис. 1.3, 6).

Технология конструкционных материалов

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 минут.

Плавильные электропечи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами:

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

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

Схема дуговой печи показана на рис. 1.4.

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

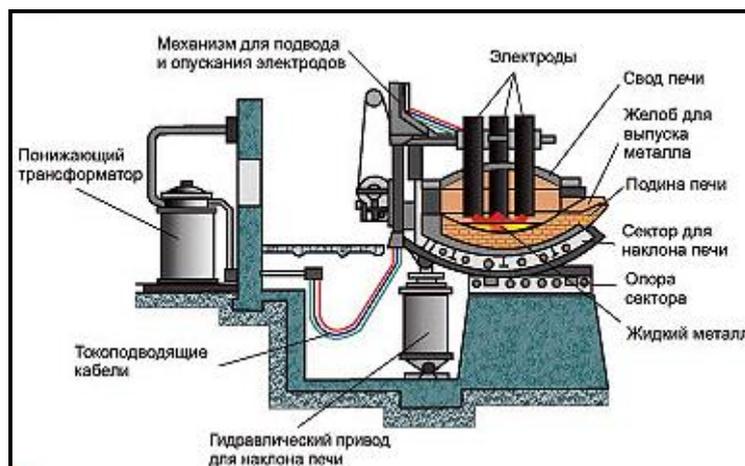


Рис. 1.4

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

## Технология конструкционных материалов

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...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.

Выплавляют наиболее качественные коррозионно-стойкие, жаропрочные и другие стали и сплавы.

Вместимость от десятков килограммов до 30 тонн.

Схемы индукционной и вакуумно-индукционной печей представлена на рис. 1.5.

Печь состоит из водоохлаждаемого индуктора 3, внутри которого находится тигель (основные или кислые огнеупорные материалы) с металлической шихтой, через индуктор от генератора высокой частоты проходит однофазный переменный ток повышенной частоты 500...2000 Гц.



Технология конструкционных материалов

Из плавильных печей сталь выпускают в ковш, а затем – в изложницы. В изложницах или кристаллизаторах сталь затвердевает и получают слитки, которые подвергаются дальнейшей обработке (прокатке или ковке).

**Изложницы** – чугунные формы для изготовления слитков.

Изложницы выполняют с квадратным, прямоугольным, круглым и многогранным поперечными сечениями.

Сталь разливают в изложницы сверху (рис. 1.6, а), снизу (сифоном) (рис. 1.6, б) и на машинах непрерывного литья (рис. 1.7).

**При разливке сверху** сталь разливают непосредственно из ковша. 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** одновременно заполняются несколько изложниц (4...60). Изложницы устанавливаются на поддоне, в центре которого располагается центровой литник, футерованный огнеупорными трубками, соединённый каналами с изложницами. Жидкая сталь из ковша поступает в центровой литник и снизу плавно, без разбрызгивания, наполняет изложницу.

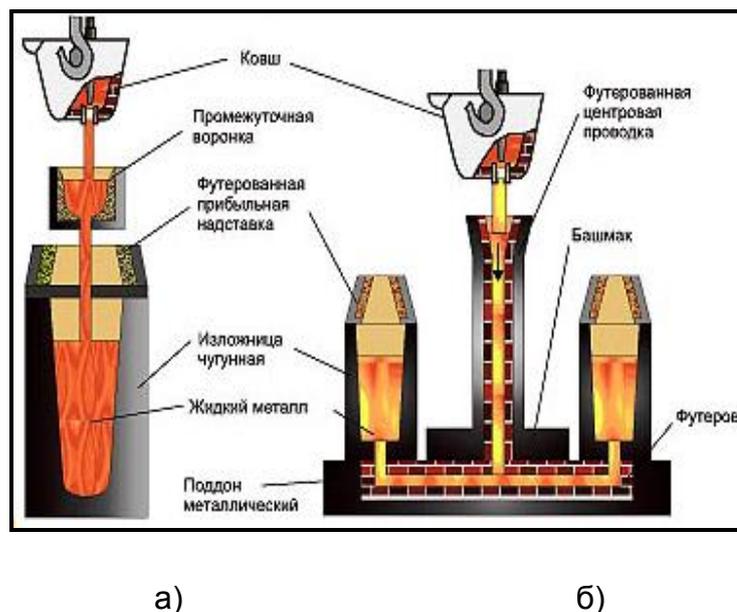


Рис. 1.6

Поверхность слитка получается чистой, можно разливать большую массу металла одновременно в несколько изложниц.

Используют для легированных и высококачественных сталей.

**Непрерывная разливка** стали состоит в том, что жидкую сталь из ковша через промежуточный ковш непрерывно подают в водоохлаждаемую изложницу без дна – кристаллизатор, из нижней части которого вытягивается затвердевающий слиток.

Перед заливкой металла в кристаллизатор вводят затравку – стальную штангу со сменной головкой, имеющей паз в виде ласточкиного хвоста, которая в

Технология конструкционных материалов

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, постепенно вытягивая затвердевающий слиток из кристаллизатора. После прохождения тяговых роликов, затравку отделяют. Скорость вытягивания составляет в среднем 1 м/мин. Окончательное затвердевание в сердцевине происходит в результате вторичного охлаждения водой из брызгал. Затем затвердевший слиток попадает в зону резки, где его разрезают газовым резаком, на куски заданной длины. Слитки имеют плотное строение и мелкозернистую структуру, отсутствуют усадочные раковины.

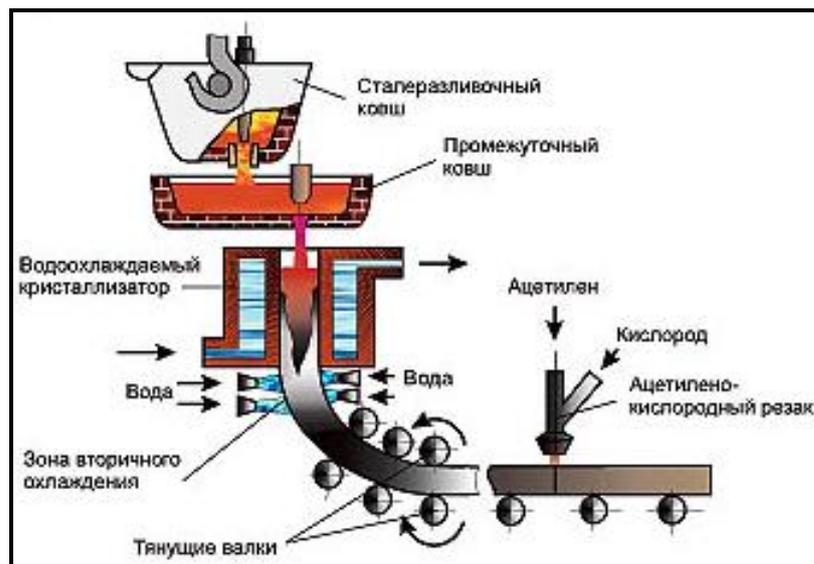


Рис. 1.7

Улучшить качество металла можно уменьшением в нём 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...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.

**Электрошлаковый переплав (ЭШП)** применяют для выплавки высококачественных сталей для подшипников, жаропрочны сталей.

Схема электрошлакового переплава представлена на рис. 1.8, а.

## Технология конструкционных материалов

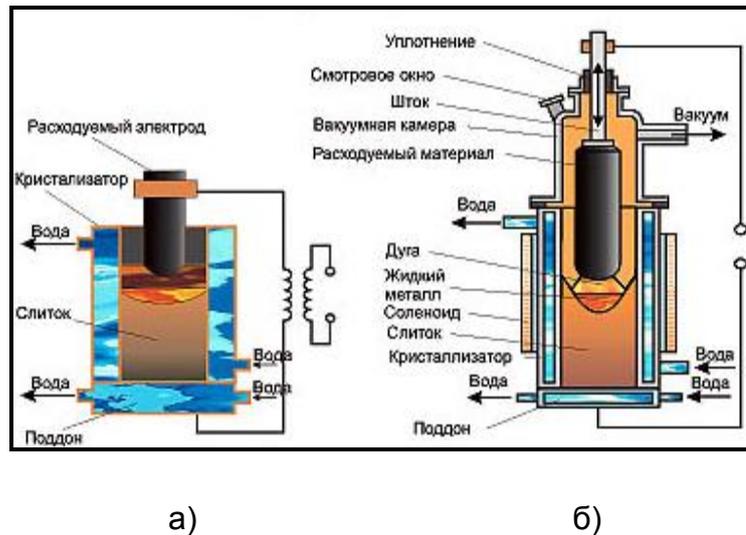


Рис. 1.8

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, погруженному в шлаковую ванну, и к поддону, установленному в водоохлаждаемом кристаллизаторе, в котором находится затравка. Выделяющаяся теплота нагревает ванну до температуры свыше  $1700^{\circ}\text{C}$  и вызывает оплавление конца электрода. Капли жидкого металла проходят через шлак и образуют под шлаковым слоем металлическую ванну. Перенос капель металла через основной шлак способствует удалению из металла серы, неметаллических включений и газов. Металлическая ванна пополняется путём расплавления электрода, и под воздействием кристаллизатора она постепенно формируется в слиток 6. Содержание кислорода уменьшается в 1,5...2 раза, серы в 2...3 раза. Слиток отличается плотностью, однородностью, хорошим качеством поверхности, высокими механическими и эксплуатационными свойствами. Слитки получают круглого, квадратного и прямоугольного сечения, массой до 110 тонн.

**Вакуумно-дуговой переплав (ВДП)** применяют в целях удаления из металла газов и неметаллических включений.

Процесс осуществляется в вакуумно-дуговых печах (рис. 1.8, б) с расходуемым электродом. Катод изготовляют механической обработкой слитка выплавляемого в электропечах или установках ЭШП.

Расходуемый электрод закрепляют на водоохлаждаемом штоке и помещают в корпус печи и далее в медную водоохлаждаемую изложницу. Из корпуса печи откачивают воздух до остаточного давления  $0,00133$  кПа. При подаче напряжения между расходуемым электродом (катодом) и затравкой (анодом) возникает дуга. Выделяющаяся теплота расплавляет конец электрода. Капли жидкого металла, проходя зону дугового разряда, дегазируются, заполняют изложницу и затвердевают, образуя слиток. Дуга горит между электродом и жидким металлом 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 высокой

### Технология конструкционных материалов

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

Вопросы для самоконтроля

1. В каких агрегатах выплавляется чугун?
2. Какой расход кокса характерен при производстве чугуна?
3. В каких агрегатах производится передел чугуна в сталь?
4. Какое количество топлива расходуется при выплавке стали в мартеновских печах?
5. Какими преимуществами обладают стали, выплавленные в индукционных печах?
6. Какие способы разливки стали Вы знаете?

## Лекция 2: «Литейное производство»

Вопросы лекции:

- 2.1 Сущность литейного производства.
- 2.2 Литье в песчаные формы.
- 2.3 Специальные способы литья.
- 2.4 Дефекты отливок и их исправление.

### Сущность литейного производства

Литейная технология – это процесс получения литых заготовок путем заливки расплавленного металла в формы, полость которых повторяет конфигурацию отливки. При охлаждении металл затвердевает и принимает конфигурацию полости формы.

Литьем получают разнообразные конструкции отливок массой от нескольких грамм до 300 т, длиной от нескольких сантиметров до 20м, со стенками толщиной 0,5...500 мм (блоки цилиндров, поршни, коленчатые валы, корпуса и крышки редукторов, зубчатые колеса, станины станков, станины прокатных станов, турбинные лопатки и т.д.).

Отливки получают из черных и [цветных сплавов](#) (алюминиевых, магниевых, медных, цинковых, титановых и др.).

Для получения расплава применяют шихтовые материалы:

- небольшие слитки металлургического производства (чушки);
- отходы собственного производства;
- лом;
- флюсы.

Основными характеристиками литейных сплавов являются:

1) **Жидкотекучесть** – это способность металлов и сплавов течь в расплавленном состоянии по каналам литейной формы, заполнять её полости и чётко воспроизводить контуры отливки.

Жидкотекучесть литейных сплавов зависит 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 (эвтектоидные сплавы), обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, образующие твёрдые растворы и затвердевающие в интервале температур. Чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть. С увеличением поверхностного натяжения жидкотекучесть понижается и тем больше, чем тоньше канал в литейной форме; с повышением температуры заливки расплавленного металла и температуры формы жидкотекучесть улучшается. Увеличение теплопроводности материала формы снижает жидкотекучесть. Так, песчаная форма отводит теплоту медленнее, и расплавленный металл заполняет её лучше, чем металлическую форму. Наибольшей жидкотекучестью обладает серый чугун, наименьшей – магниевые сплавы

Технология конструкционных материалов

2) **Усадка** – свойство литейных сплавов уменьшать объём при затвердевании и охлаждении. Усадочные процессы в отливках протекают с момента заливки расплавленного металла в форму вплоть до полного охлаждения отливки. Различают объёмную и линейную усадку, выражаемую в относительных единицах.

Линейная усадка – уменьшение линейных размеров отливки при её охлаждении от температуры, при которой образуется прочная корка, способная противостоять давлению расплавленного металла, до температуры окружающей среды. Линейную усадку определяют соотношением, %:

$$\delta = (l_{\text{ф}} - l_{\text{отл}}) / l_{\text{ф}}$$

где  $l_{\text{ф}}$  и  $l_{\text{отл}}$  – размеры полости формы и отливки при температуре 20°C.

На линейную усадку влияют химический состав сплава, температура его заливки, скорость охлаждения сплава в форме, конструкция отливки и литейной формы. Так, усадка серого чугуна уменьшается с увеличением содержания углерода и кремния. Усадку алюминиевых сплавов уменьшаем повышение содержания кремния. Усадку отливок уменьшает снижение температуры заливки. Увеличение скорости отвода теплоты от залитого в форму сплава приводит к возрастанию усадки отливки. При охлаждении отливки происходит механическое и термическое торможение усадки. Механическое торможение возникает вследствие трения между отливкой и формой. Термическое торможение обусловлено различными скоростями охлаждения отдельных частей отливки. Сложные по конфигурации отливки подвергаются совместному воздействию механического и термического торможения.

Линейная усадка для серого чугуна составляет 0,9...1,3 %, для высокопрочного чугуна – до 1,7 %, для углеродистых сталей – 2...2,4 %, для алюминиевых сплавов - 0,9...1,5 %, для медных – 1,4...2,3 %.

Объёмная усадка – уменьшение объёма сплава при его охлаждении в литейной форме при формировании отливки. Объёмную усадку определяют соотношением, %:

$$\Delta = (V_{\text{ф}} - V_{\text{отл}}) / V_{\text{ф}}$$

где  $V_{\text{ф}}$  и  $V_{\text{отл}}$  – объём полости формы и отливки при температуре 20°C.

Объёмная усадка приблизительно равна утроенной линейной усадке.

Усадка в отливках проявляется в виде:

- усадочных раковин – сравнительно крупных полостей, расположенных в местах отливки, которые затвердевают последними;
- усадочной пористости – скопление пустот, образовавшихся в отливке в обширной зоне в результате усадки в тех местах отливки, которые затвердели последними без доступа к ним расплавленного металла;
- трещин;
- короблений – изменение формы и размеров отливки под влиянием напряжений, возникающих при охлаждении.

## Технология конструкционных материалов

Существует несколько способов изготовления отливок. Традиционный способ – литье в песчаные формы (ПФ), специальные способы – литье в кокиль (К), литье по выплавляемым моделям (ВМ), литье под давлением (Д) и др.

### Литье в песчаные формы

Сущность литья в песчаные формы заключается в получении отливок из расплавленного металла, затвердевшего в формах, которые изготовлены из формовочных смесей путем уплотнения с использованием модельного комплекта.

Для изготовления отливки необходимо иметь следующие материалы и оснастку:

- песчаную форму (ПФ) – разовая литейная форма, изготовленная из уплотненной формовочной смеси. ПФ состоит из двух полуформ. Для образования отверстий применяются песчаные стержни;
- типовые составы формовочных и стержневых смесей;
- модельный комплект: модель детали, модели элементов литниковой системы, модельные плиты, стержневые ящики;
- опоки.

Технологический процесс изготовления отливок в песчаных формах предусматривает:

- изготовление полуформ по модельным плитам (наиболее распространенными способами уплотнения смеси при машинной формовке являются прессование, встряхивание и их сочетание);
- изготовление стержней;
- сборку формы с постановкой стержней и подготовка ее к заливке;
- заливку форм расплавленным металлом;
- затвердевание и охлаждение отливок;
- выбивку отливок из форм и стержней из отливок;
- отделение литниковой системы от отливок, их очистка и зачистка;
- контроль качества отливок.

Песчаная форма обычно состоит из верхней и нижней полуформ, которые изготавливаются в опоках – приспособлениях для удержания формовочной смеси. Процесс изготовления нижней полуформы показан на рис. 2.1.

Для изготовления полуформы используют деревянную модель 3, которую устанавливают на подмодельную плиту 2, и помещают ее в нижнюю опоку 1. Опоку заполняют формовочной смесью 4, которая утрамбовывается ручным или машинным способом. Затем нижнюю опоку переворачивают, модель извлекают и на нижнюю опоку ставят верхнюю опоку 7. Опоки фиксируются между собой с помощью штырей. Литейную форму заливают расплавленным металлом через литниковую систему (рис. 2.1, г).

Технология конструкционных материалов

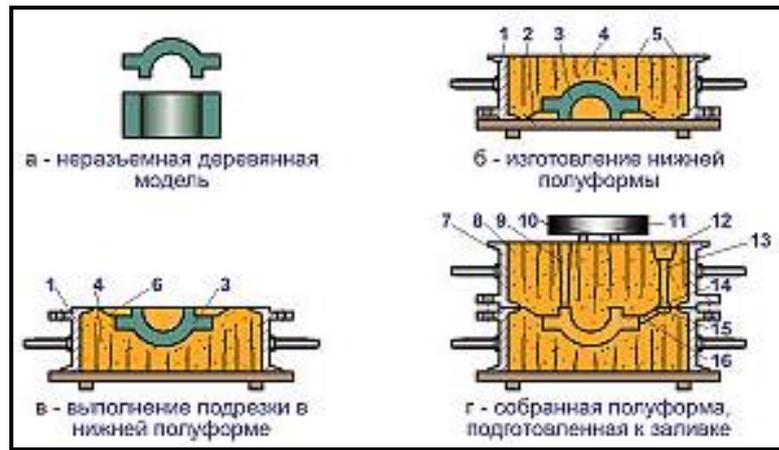


Рис. 2.1

Литниковая система – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из разливочного ковша в полость формы.

Основными элементами являются: литниковая чаша 12, которая служит для приема расплавленного металла и подачи его в форму; стояк 13 – вертикальный или наклонный канал для подачи металла из литниковой чаши в рабочую полость или к другим элементам; шлакоуловитель 14, с помощью которого удерживается шлак и другие неметаллические примеси; металлоприемник 15 питатель 16 – 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 9. Для вывода газов предназначены и вентиляционные каналы 5.

Способ применяют во всех областях машиностроения. Получают отливки любой конфигурации 1...6 групп сложности. Точность размеров соответствует 6...14 группам. Параметр шероховатости  $R_z = 630...80$  мкм. Можно изготавливать отливки массой до 250 тонн с толщиной стенки свыше 3 мм.

Применение основано на следующих достоинствах:

- конфигурация 1...6 групп сложности;
- возможность механизировать производство;
- дешевизна изготовления отливок;
- возможность изготовления отливок большой массы;
- отливки изготавливают из всех литейных сплавов, кроме тугоплавких.

Недостатки способа:

- большая запыленность на участке формовки;
- большая шероховатость поверхности отливки;
- толщина стенок > 3мм;
- вероятность дефектов больше, чем при других способах литья.

Основной компонент формовочных и стержневых смесей – песок.

Обычно используется кварцевый или цирконовый песок из кремнезема  $SiO_2$ .

## Технология конструкционных материалов

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 противопригарные 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 прочностью, пластичностью, податливостью, текучестью, негигроскопичностью.

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 наполнения 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.

Стержневые смеси соответствуют условиям технологического процесса изготовления литейных стержней, которые испытывают тепловые и механические воздействия. Они должны иметь более высокие огнеупорность, газопроницаемость, податливость, легко выбиваться из отливки.

**Литейная модель** – приспособление, с помощью которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации и размерам отливки.

Применяют модели разъемные и неразъемные, деревянные, металлические и пластмассовые.

Размеры модели больше размеров отливки на величину линейной усадки сплава.

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.

### 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. Каждый специальный способ литья имеет свои особенности, определяющие области применения.

Сущность процесса **литья по выплавляемым моделям** заключается в изготовлении отливок заливкой расплавленного металла в тонкостенные, неразъемные, разовые литейные формы, изготовленные из специальной огнеупорной смеси по разовым моделям. Разовые выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах из модельных составов. Перед заливкой модель удаляется из формы выплавлением, выжиганием и т.д. Для устранения остатков модельного состава и упрочнения форма нагревается и прокаливается. Заливка осуществляется в разогретые формы для улучшения заполняемости.

Для изготовления отливки необходимо иметь следующие материалы и оснастку (рис. 2.2, 2.3):

- 1) модельная форма, изготовленная из модельного состава (парафин, стеарин, церезин, канифоль и т.д.);
- 2) формовочная смесь: 2ч. пылевого кварца, 1ч. связующего материала;
- 3) пресс-форма для изготовления моделей;
- 4) литейная форма;
- 5) вибрационная установка.

Основные технологические операции изготовления форм и отливок включают:

- 1) Изготовление моделей в пресс-форме.
- 2) Сборка моделей в модельный блок на металлический стояк.
- 3) Нанесение на модельный блок огнеупорной суспензии.
- 4) Обсыпка слоя суспензии зернистым материалом в кипящем слое.
- 5) Выплавление моделей в горячей воде.
- 6) Прокалка формооболочек в опорном наполнителе при 950...1050 °С.
- 7) Заливка в форму жидкого металла.
- 8) Отделение отливок от стояка.

Технология конструкционных материалов

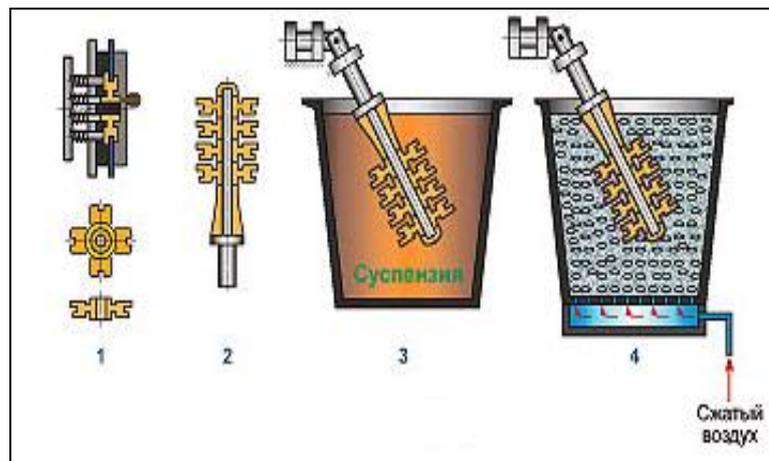


Рис. 2.2

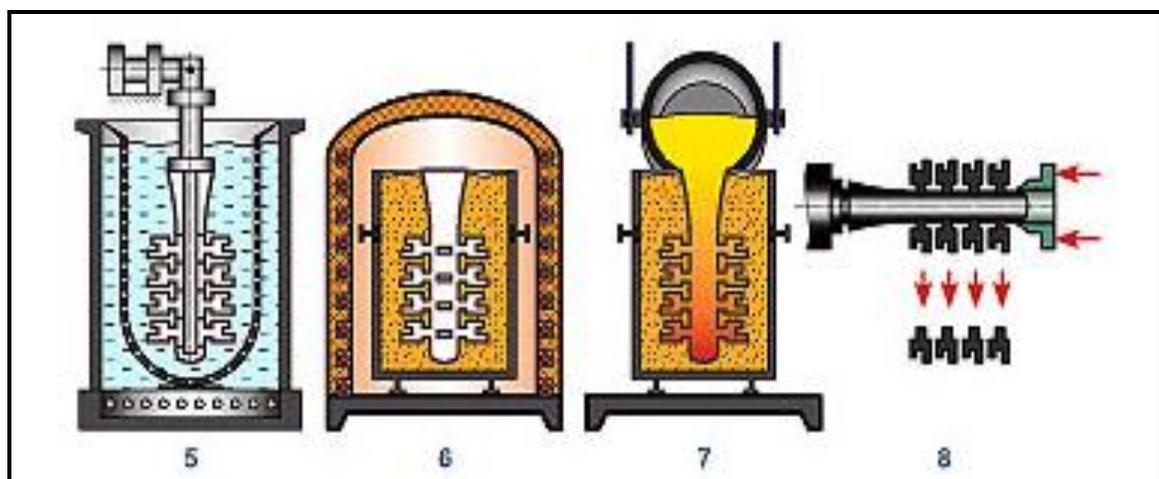


Рис. 2.3

Этим способом можно отливать изделия из различных сплавов любой конфигурации 1...5 групп сложности массой от нескольких грамм до 250 кг с толщиной стенок от 1мм. Припуск на механическую обработку составляет 0,2-0,7 мм. Применяется в различных областях машиностроения.

Применение основано на следующих достоинствах:

- можно получать отливки из тугоплавких изделий;
- получают конфигурации отливок 1...5 групп сложности;
- высокая точность геометрических размеров и малая шероховатость поверхности.

Недостатки способа:

- длительность процесса;
- дороговизна.

Сущность процесса **литья в кокиль** заключается в изготовлении отливок из жидкого расплава свободной его заливкой в многократно используемые металлические формы – кокили, обеспечивающие высокую скорость затвердевания жидкого расплава и позволяющие получать в одной форме от нескольких десятков до нескольких тысяч отливок

Схема получения отливок в кокиле представлена на рис. 2.4.

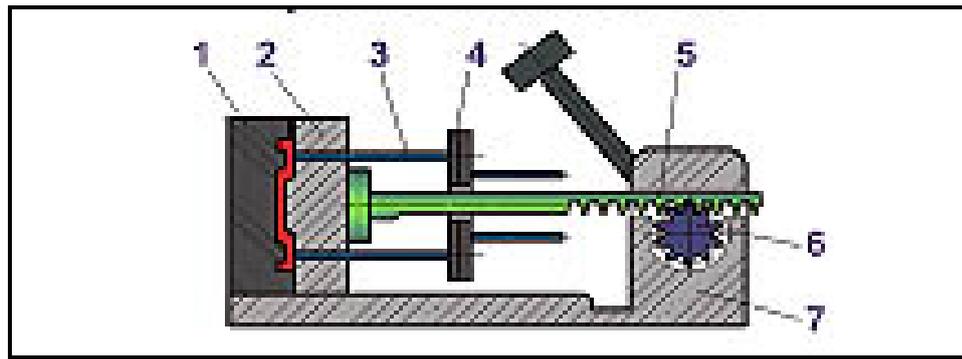


Рис. 2.4

Рабочую поверхность кокиля с вертикальной плоскостью разъема, состоящую из неподвижной 1 и подвижной 2 полуформ, металлического стержня 5, предварительно нагретую до 150...180 °С покрывают слоем огнеупорного покрытия толщиной 0,3...0,8 мм. Покрытие предохраняет рабочую поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой.

Покрытия готовят из огнеупорных материалов (тапок, мел, графит), связующего материала (жидкое стекло) и воды.

Половинки кокиля соединяют и заливают расплав. После затвердевания отливки и охлаждения ее до температуры выбивки кокиль раскрывают и отливка удаляется толкателями из кокиля.

Способ применяют в автомобиле- и танкостроении.

Литьем в кокиль изготавливают отливки из чугуна, стали и цветных сплавов. Трудно получить сложные стальные отливки ввиду значительной усадки литейных сталей, что ведет к образованию трещин (в отсутствие податливости формы). Целесообразно применять в серийном, крупносерийном и массовом производствах. Этим способом изготавливают отливки из стали массой до 160 кг, из цветных сплавов – до 50 кг с толщиной стенок от 3 до 100 мм. Параметр шероховатости поверхности  $R_z = 80...20$  мкм. Точность размеров соответствует 4...12 классам. Можно изготавливать отливки 1...5 группы сложности.

Достоинства способа:

- повышенная точность геометрических размеров (по сравнению с литьем в ПФ);
- снижение шероховатости поверхностей отливок (по сравнению с литьем в ПФ);
- снижение припусков на механическую обработку на 10...20 %;
- лучше санитарно-гигиенические условия;
- мелкозернистая структура отливок, т.е. выше прочность отливок.

Недостатки способа:

- сложность изготовления кокилей, их ограниченный срок службы (особенно при литье черных сплавов);
- неподатливость кокиля и металлических стержней;
- затруднен вывод газов из полости формы.

Технология конструкционных материалов

Сущность процесса **литья под давлением** заключается в получении отливок путем заливки расплавленного металла в металлическую форму (пресс-форму) под принудительным внешним давлением от 30 до 100 МПа. Конечное давление на расплав может достигать 490 МПа. Давление снимается после полного затвердевания отливки в пресс-форме.

Схема установки для изготовления отливки под низким давлением представлена на рис. 2.5.

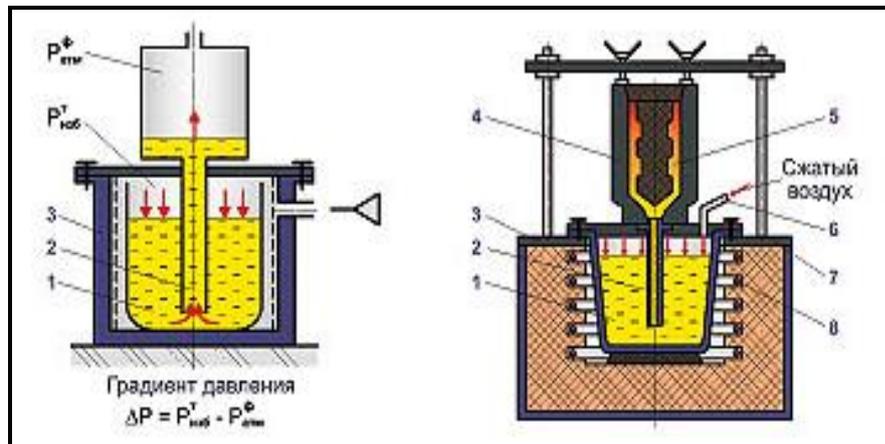


Рис. 2.5

В технологическом процессе литья используются:

- 1) тигель с расплавом металла;
- 2) металлопровод;
- 3) камера тигля;
- 4) металлическая форма;
- 5) отливка;
- 6) воздухопровод;
- 7) герметизирующая крышка;
- 8) нагреватели.

Основные технологические операции изготовления отливок включают:

- 1) очистку пресс-формы;
- 2) нагрев пресс-формы до 120...220 °С и покрытие поверхности смазкой;
- 3) сборку пресс-формы;
- 4) залив расплавленного металла в камеру прессования и запрессовка расплава под давлением в полость пресс-формы;
- 5) охлаждение и затвердевание отливки под внешним давлением;
- 6) после затвердевание отливки внешнее давление снимается и извлекается отливка.

**Литьем под высоким давлением** получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливку металла в форму и формирование отливки осуществляют под давлением.

Отливки получают на машины литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры прессования располагаются либо горизонтально, либо вертикально.

Технология конструкционных материалов

На машинах с горизонтальной холодной камерой прессования (рис. 2.6) расплавленный металл заливают в камеру прессования 1 (рис. 2.6, а).

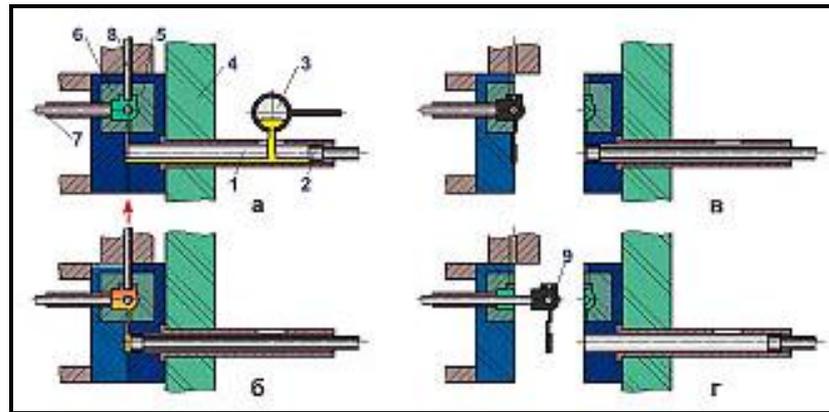


Рис. 2.6

Затем металл плунжером 2, под давлением 40...100 МПа, подается в полость пресс-формы (рис. 2.11, б), состоящей из неподвижной 4 и подвижной 6 полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 8. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается, стержень 8 извлекается (рис. 2.6, в) и отливка 9 выталкивателями 7 удаляется из рабочей полости пресс-формы.

Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120...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. 2.7) камера прессования 2 расположена в обогреваемом тигле 1 с расплавленным металлом. При верхнем положении плунжера 3 металл через металлопровод 4 заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз отверстие перекрывается, сплав под давлением 10...30 МПа заполняет полость пресс-формы 5. После затвердевания отливки плунжер возвращается в исходное положение, остатки расплавленного металла сливаются в камеру прессования, а отливка 8 удаляется из пресс-формы выталкивателями 7.

Технология конструкционных материалов

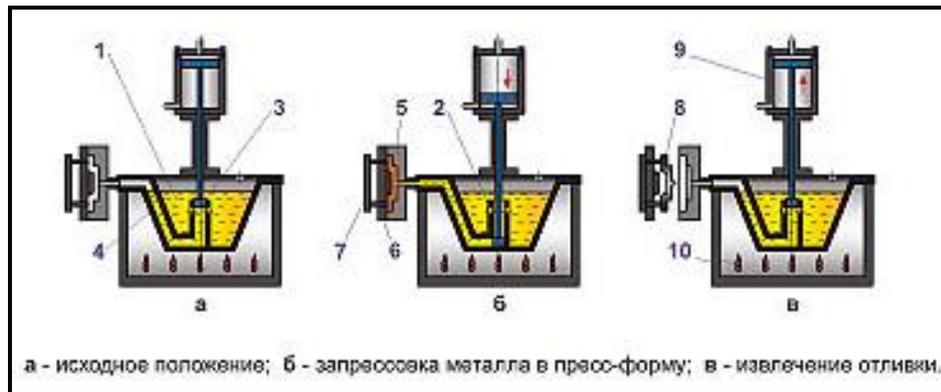


Рис. 2.7

Получают отливки из цинковых и магниевых сплавов массой от нескольких граммов до 25 кг.

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

Литье под давлением используют в массовом и крупносерийном производствах отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм, с высокой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности, за счет тщательного полирования рабочей полости пресс-формы, без механической обработки или с минимальными припусками, с высокой производительностью процесса.

Недостатки: высокая стоимость пресс-формы и оборудования, ограниченность габаритных размеров и массы отливок, наличие воздушной пористости в массивных частях отливки.

Сущность процесса **литья вакуумным всасыванием** состоит в том, что расплав под действием разряжения, создаваемого в полости формы, заполняет ее и затвердевает, образуя отливку. Изменением разности между атмосферным давлением и давлением в полости формы можно регулировать скорость заполнения формы расплавом, управляя этим процессом. Вакуумирование полости форм при заливке позволяет заполнить формы тонкостенных отливок с толщиной стенки 1...1,5 мм, исключить попадание воздуха в расплав, повысить точность, и механические свойства отливок.

Схема и установка данного способа показана на рис. 2.8.

Особенности формирования отливки состоят в том, что форма может заполняться расплавом с требуемой скоростью, плавно, без разбрызгивания, сплошным фронтом; расплав, заполнивший форму, затвердевает в условиях вакуума; газы, содержащиеся в расплаве, могут из него выделяться, благодаря чему создаются условия для получения отливок без газовых раковин и пористости. Для получения плотных отливок без усадочных дефектов необходимо согласовывать интенсивности затвердевания и питания отливки.

В состав установки входят:

- 1) тигель с расплавом металла;

Технология конструкционных материалов

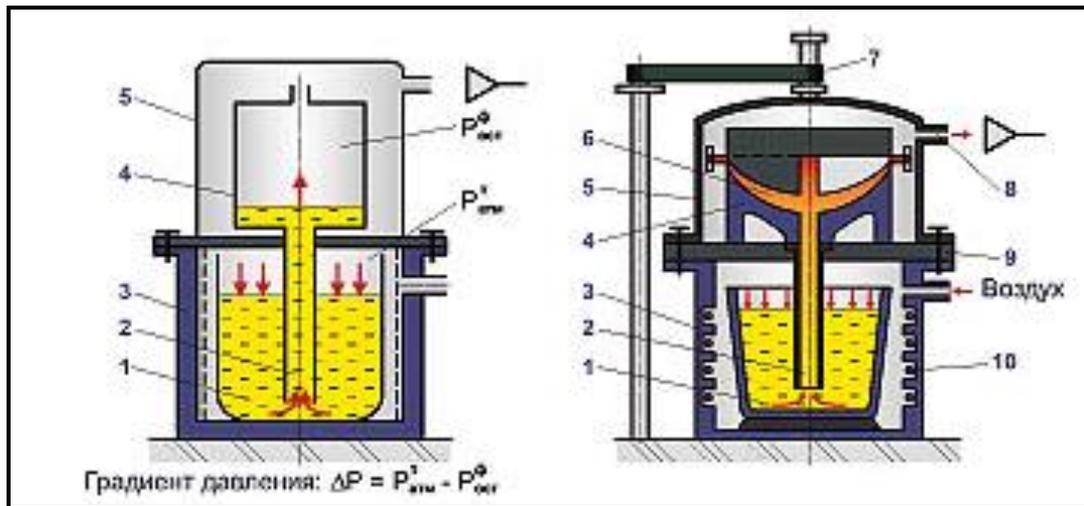


Рис. 2.8

- 2) металлопровод;
- 3) камера тигля;
- 4) металлическая форма;
- 5) камера формы;
- 6) отливка;
- 7) подъемное устройство;
- 8) вакуум-провод, соединенный с ресивером;
- 9) разделительная плита;
- 10) нагреватели.

Обычно при литье вакуумным всасыванием слитков и втулок, расплав засасывают в тонкостенный металлический водоохлаждаемый катализатор, благодаря чему отливка затвердевает с высокой скоростью.

Таким способом можно получать тонкостенные отливки типа втулок без стержней. В этом случае после всасывания расплава в кристаллизатор и намораживания на внутренних стенках кристаллизатора корочки твердого металла заданной толщины вакуум отключается и незатвердевший расплав сливается обратно в тигель. Таким образом, получают плотные заготовки втулок без газовых и усадочных раковин и пористости. Способ позволяет получать отливки из легких цветных и медных сплавов, чугуна и стали. Наиболее часто этот способ используется для литья заготовок втулок, вкладышей, подшипников скольжения из дорогостоящих медных сплавов. При этом наиболее ярко проявляются основные преимущества данного способа: спокойное заполнение формы расплавом с регулируемой скоростью, сокращение расхода металла вследствие устранения литников и прибылей, автоматизация процесса заполнения формы.

В настоящее время широкое применение находят также центробежное литье и горизонтальное непрерывное литье.

При **центробежном литье** сплав заливается во вращающиеся формы. Формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок.

Технология конструкционных материалов

Центробежным литьем 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...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.

Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем представлены на рис. 2.9.

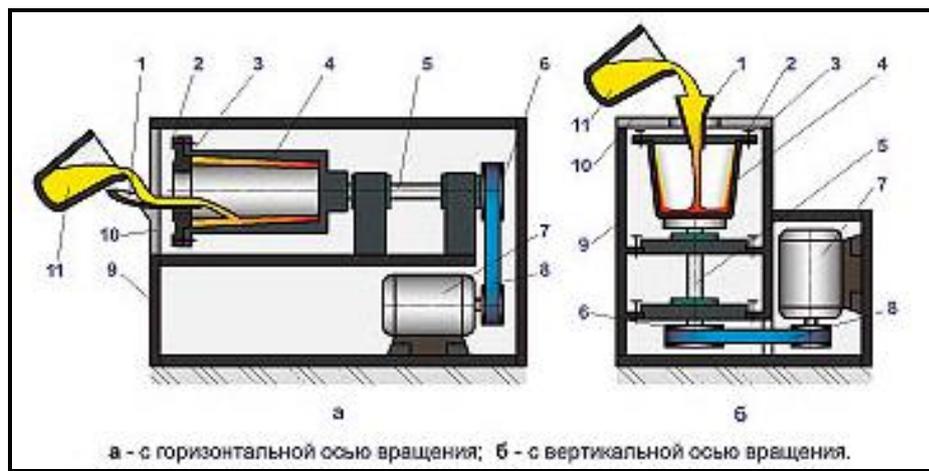


Рис. 2.9

При получении отливок типа тел вращения большой длины (трубы, втулки) на машинах с горизонтальной осью вращения (рис. 2.9, а) изложница 4 установлена на опорных роликах. Изложница приводится в движение электродвигателем 7. Расплавленный металл из ковша 11 заливают через желоб 1, который в процессе заливки металла перемещается, что обеспечивает получение равностенной отливки. После затвердевания металла готовую отливку извлекают специальным приспособлением.

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси (рис. 2.9, б) металл из ковша 11 заливают во вращающуюся изложницу 4, укрепленную навалу 5, 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 извлекается.

При **непрерывном литье** (рис. 2.10) расплавленный металл из плавильной печи 1 через приемный латок 2 и промежуточную печь 3 поступает в водоохлаждаемый кристаллизатор 4, где затвердевает и после охлаждения в панели охлаждения в виде отливки 8 вытягивается вытяжными роликами 7 из установки. Длинные отливки отрезным кругом 9 разрезают на заготовки требуемой длины.

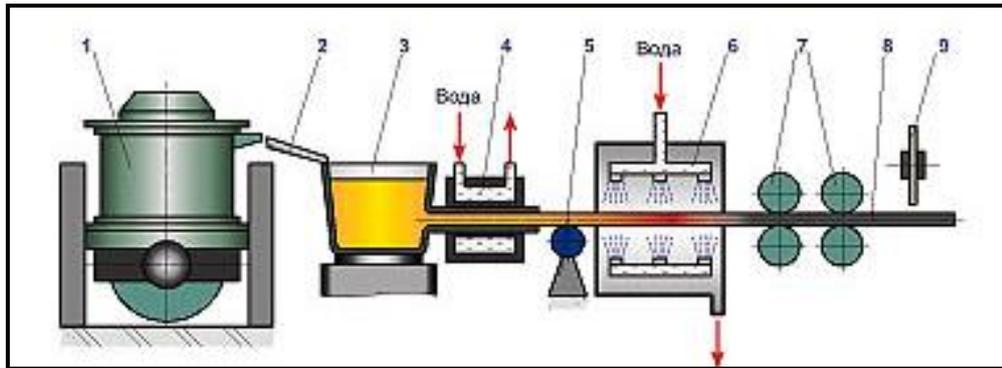


Рис. 2.10

Способ используют для получения отливок с параллельными образующими из чугуна, медных, алюминиевых сплавов. Отливки не имеют неметаллических включений, усадочных раковин и пористости, благодаря созданию направленного затвердевания отливок.

### Дефекты отливок и их исправление

Дефекты отливок по внешним признакам подразделяют: на наружные (песчаные раковины, перекося 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.

**Перекося** – 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 установке стержня.

**Недолив** – некоторые части отливки остаются незаполненными в связи с низкой температурой заливки, недостаточной жидкотекучести, недостаточным сечением 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, заливки перегретым металлом, неправильная установка 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.

Наружные дефекты отливок обнаруживаются внешним осмотром после извлечения отливки из формы или после очистки.

## Технология конструкционных материалов

Внутренние дефекты определяют радиографическими или ультразвуковыми методами дефектоскопии.

При использовании радиографических методов (рентгенография, гаммаграфия) на отливки воздействуют рентгеновским или гамма-излучением. С помощью этих методов выявляют наличие дефекта, размеры и глубину его залегания.

При ультразвуковом контроле ультразвуковая волна, проходящая через стенку отливки при встрече с границей дефекта (трещиной, раковины) частично отражается. По интенсивности отражения волны судят о наличии, размерах и глубине залегания дефекта.

Трещины выявляют люминесцентным контролем, магнитной или цветной дефектоскопией.

Незначительные дефекты исправляют заделкой замазками или мастиками, пропиткой различными составами, газовой или электрической сваркой.

**Заделка замазками или мастиками** – декоративное исправление мелких поверхностных раковин. Перед заполнением мастикой дефектные места очищают от грязи, обезжиривают. После заполнения исправленное место заглаживают, подсушивают и затирают пемзой или графитом.

**Пропитывание** применяют для устранения пористости. Отливки на 8...12 часов погружают в водный раствор хлористого аммония. Проникая в промежутки между кристаллами металла, раствор образует оксиды, заполняющий поры отливок.

Для устранения течи отливки из цветных металлов пропитывают бакелитовым лаком.

**Газовую и электрическую сварку** применяют для исправления дефектов на необрабатываемых поверхностях (раковины, сквозные отверстия, трещины). Дефекты в чугунных отливках заваривают с использованием чугунных электродов и присадочных прутков, в стальных отливках – электродами соответствующего состава.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких материалов изготавливают литейные формы?
2. Какую роль выполняют стержни в литейной форме?
3. Какие технологические приемы используют для извлечения моделей из литейных форм?
4. Какие требования предъявляют к формовочным материалам?
5. Почему модели для литья из сталей, чугунов и цветных металлов окрашиваются в различные цвета?
6. Какие требования предъявляют к литейным материалам?
7. Какие виды брака характерны для литых изделий?
8. Для каких сплавов используют литье под давлением?
9. Какие виды центробежного литья Вам известны?
10. Какие преимущества имеет метод литья в оболочковые формы?

## Лекция 3: «Технология обработки давлением»

Вопросы лекции:

3.1 Теоретические основы обработки давлением.

3.2 Основные способы обработки металлов давлением (ОМД).

### Теоретические основы обработки давлением

**Обработка давлением** – это процесс получения заготовок или деталей машин методами пластического деформирования материалов, которое осуществляется силовым воздействием соответствующего инструмента (валков, бойков, штампов) на исходную заготовку из пластичного материала.

ОМД – прогрессивный, экономичный и высокопроизводительный способ металлообработки. Обработке давлением подвергают  $\approx 90\%$  всей выплавляемой стали,  $\approx 55\%$  цветных металлов и сплавов.

ОМД основана на использовании пластических свойств металла, т.е. на их способности в определенных условиях принимать заданную форму без разрушения. Происходит перераспределение металла заготовки под действием вне-шних сил.

Процесс изменения формы и размеров тела под действием приложенных нагрузок называется деформацией. Деформация может быть упругой и пластической.

Упругой называют деформацию, при которой после снятия нагрузок тело восстанавливает первоначальную форму и размеры.

При пластической деформации после снятия внешней нагрузки тело не восстанавливает первоначальную форму и размеры. Такая деформация также называется остаточной.

Пластическая деформация возникает тогда, когда напряжения, вызываемые действием внешних сил, превосходят предел текучести.

Многие детали, к которым не предъявляются высокие требования по чистоте и точности, могут изготавливаться обработкой давлением без последующей обработки на станках.

Основными способами обработки давлением являются: **прокатка, волочение, прессование, свободная ковка, объемная штамповка и листовая штамповка.**

Заготовками при ОМД часто являются слитки. Структура слитков неоднородна. Основу ее составляют зерна первичной кристаллизации (дендриты) различной величины и формы, на границах которых скапливаются примеси и неметаллические включения. В структуре слитка имеются также поры, газовые пузыри. При ОМД при высоких температурах происходит дробление зерен, а также частичное заваривание пор. Зерна и межкристаллические прослойки вытягиваются в направлении наибольшей деформации. В результате структура металла приобретает волокнистое строение. Вследствие протекания диффузионных процессов происходит некоторое выравнивание химического состава. То есть при ОМД структура слитка улучшается.

## Технология конструкционных материалов

При последующей термообработке волокнистое строение изменить невозможно. Волокнистость оказывает влияние на механические характеристики, вызывая их анизотропию. При сравнительно неизменных во всех направлениях характеристиках прочности характеристики пластичности (особенно ударная вязкость) металла вдоль волокон получаются выше, чем поперек волокон. В поперечном направлении ударная вязкость на 50...70 % оказывается ниже, чем вдоль волокон.

Анизотропию свойств деформированного металла следует учитывать при проектировании и изготовлении деталей. Надо стремиться получить в них такое расположение волокон, чтобы наибольшие растягивающие напряжения действовали вдоль волокон, а если элемент работает на срез, то перерезывающие усилия – поперек волокон, и чтобы волокна у поверхности детали повторяли ее очертания и не перерезались при обработке резанием. В этом случае повышаются прочность и другие служебные свойства деталей.

На рис. 3.1 представлен коленчатый вал, изготовленный резанием (а) и ковкой (б). Прочность детали а) меньше прочности детали б).

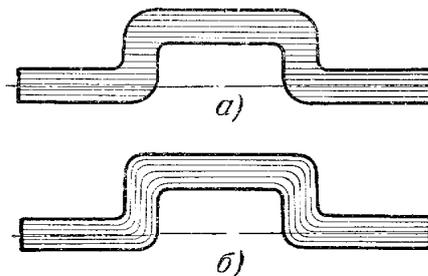


Рис. 3.1

При холодном деформировании металлов повышается плотность дефектов кристаллического строения и возрастает сопротивление их перемещению. С увеличением степени деформации пределы прочности, твердость увеличиваются, а пластичность и вязкость снижаются. Упрочнение металлов при пластической деформации называется наклепом. В результате упрочнения пластические свойства металла могут снизиться настолько, что дальнейшая деформация вызывает разрушение.

При нагреве наклепанного металла до температур, составляющих  $(0,2...0,3) T_{пл}$  (температуры возврата или отдыха), частично уменьшаются искажения кристаллической решетки и внутренние напряжения без существенного изменения микроструктуры и механических свойств деформированного металла.

При нагреве деформированных металлов выше температур  $0,4 T_{пл}$  (для сплавов  $0,6 T_{пл}$ ) образуются новые равноосные зерна, и свойства металла возвращаются к свойствам до деформации. Процесс образования новых центров кристаллизации и новых равноосных зерен в деформированном металле при нагреве, сопровождающийся уменьшением прочности, увеличением пластичности и восстановлением других свойств, называется рекристаллизацией.

## Технология конструкционных материалов

В зависимости от температурно-скоростных условий при деформировании могут происходить два противоположных процесса: упрочнение, вызываемое деформацией, и разупрочнение, обусловленное рекристаллизацией. В соответствии с этим различают холодную и горячую деформацию.

Холодное деформирование происходит при температурах ниже температур рекристаллизации и сопровождается наклепом металла.

Горячее деформирование протекает при температурах выше температур рекристаллизации. При горячей деформации также происходит упрочнение металла, но оно полностью снимается в процессе рекристаллизации. Деформация, после которой происходит только частичное разупрочнение, называется неполной горячей деформацией.

Величина зерна металла после горячей обработки в основном зависит от температуры и степени деформации.

Степень деформации представляет отношение разности начальной  $F_H$  (до деформации) и конечной  $F_K$  (после деформации) площадей поперечных сечений заготовки к ее начальной площади поперечного сечения, т.е.:

$$\varepsilon = \frac{F_H - F_K}{F_H} 100\%$$

Степень деформации  $\varepsilon = 5...10\%$ , при которой получается максимальная величина зерна, называется критической. С ростом температуры критическая степень деформации сдвигается влево. Величина зерна в металле тем меньше, чем больше после критическая степень деформации. Поэтому технологический процесс обработки давлением строят так, чтобы на каждом переходе степень деформации была больше или меньше критической.

### Основные способы ОМД

**Прокатка** – это вид обработки металлов давлением, при котором заготовка силами трения втягивается в зазор между вращающимися валками прокатного стана и пластически деформируется ими с уменьшением площади поперечного сечения.

Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов.

Существуют три основных способа прокатки: **продольная, поперечная, поперечно-винтовая** (рис. 3.2).

При **продольной** прокатке деформация осуществляется между вращающимися в разные стороны валками (рис.3.2, а). Заготовка втягивается в зазор между валками за счет сил трения и перемещается перпендикулярно осям валков. Этим способом изготавливается около 90 % всей катаной продукции – сортовой прокат, ленты, полосы, листы.

**Поперечная** прокатка (рис. 3.2, б). Валки вращаются в одну сторону, приводя во вращательное движение заготовку.

В процессе поперечной прокатки обрабатываемое тело удерживается в валках с помощью специального приспособления. Обжатие заготовки по диаметру

Технология конструкционных материалов

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. 3.2,в). Валки, вращающиеся в одну сторону, установлены под углом друг другу. Прокатываемый металл получает и вращательное и поступательное движение. В результате сложения этих движений каждая точка заготовки движется по винтовой линии. Применяется для производства труб и периодического проката.



Рис. 3.2

Для того чтобы начался процесс прокатки, необходимо выполнить условие захвата заготовки валками. В момент захвата металла со стороны каждого валка действуют на металл две силы: нормальная сила  $N$  и касательная сила трения  $T$  (рис. 3.3).

Угол  $\alpha$  – угол захвата; дуга, по которой валок соприкасается с прокатываемым металлом – дуга захвата, а объем металла между дугами захвата – очаг или зона деформации.

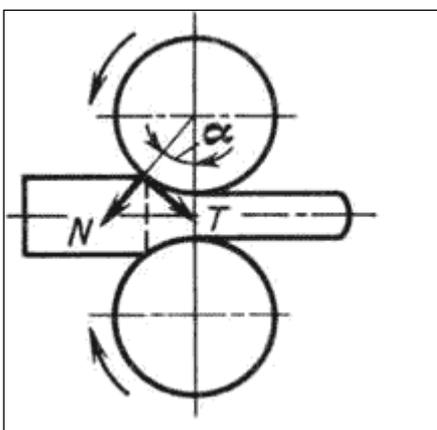


Рис. 3.3

Проекция нормальной реакции  $N$  на направление оси заготовки стремится вытолкнуть заготовку из зоны деформации, а проекция силы трения  $T$  на тоже направление – втянуть заготовку в зону деформации.

Прокатка будет осуществляться, если

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

Известно, что  $T = fN$ , тогда

$$f \cos \alpha > \sin \alpha \text{ или } f > \operatorname{tg} \alpha .$$

Технология конструкционных материалов

Таким образом, для захвата металла валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата.

Процесс прокатки характеризуется:

- абсолютным обжатием – разность исходной  $H$  и конечной  $h$  толщин

$$\Delta h = H - h$$

- относительным обжатием или степенью деформации  $\varepsilon$  (%) полосы по высоте это отношение абсолютного обжатия к исходной толщине

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} 100\%$$

Максимальное значение степени деформации составляет 20...50 %.

Форма поперечного сечения прокатной продукции называется профилем проката. Совокупность профилей различной формы и размеров – сортаментом проката.

Различают пять групп сортамента проката: **сортовой, листовой, трубный, специальный и периодический.**

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);
  - профили специального назначения (профиль для рессор, напильников).

**Листовой прокат** из стали и цветных металлов подразделяется на толстолистовой (4...60 мм), тонколистовой (0,2...4мм) и жель (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.

**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 (рис. 3.4) предусматривает две операции: 1– получение толстостенной гильзы (прошивка); 2 – получение из гильзы готовой трубы (раскатка).

Первая операция выполняется на специальных прошивочных станах в результате поперечно-винтовой прокатки. Вторую операцию выполняют на

Технология конструкционных материалов

трубопрокатных раскатных станах различных конструкций: пилигримовых, автоматических и др.

При прокатке гильз на пилигримовых станах (диаметр трубы 48...605 мм при толщине стенок 225...50 мм) в гильзу вводят оправку (дорн), на котором раскатывают трубы между двумя валками. Рабочие валки стана имеют ручки переменной ширины и высоты по окружности, т.е. имеют рабочую часть, где они образуют калибр, размер которого соответствует требуемому диаметру трубы, и холостую, где эти размеры существенно больше.

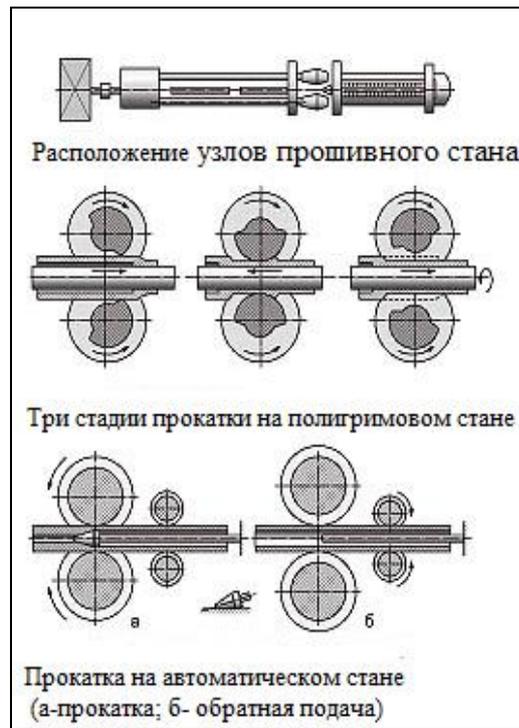


Рис. 3.4

Рабочая часть валка имеет рабочий и калибрующий участки. Процесс работы заключается в периодической подаче на определенную длину гильзы вместе с оправкой в зазор между валками в момент совпадения холостой части обоих валков (первая стадия прокатки). Затем выполняется процесс прокатки, и гильза перемещается в направлении вращения валков, т.е. обратном ходу прокатываемой трубы (вторая стадия). При этом рабочий участок обжимает гильзу по диаметру и толщине стенки, а калибрующий участок обеспечивает выравнивание диаметра и толщины стенки. После выхода из рабочей части оправка с гильзой продвигаются вперед, поворачиваясь на 90° вокруг продольной оси (третья стадия). По окончании прокатки валки разводятся, и подающий механизм обратным ходом вытягивает оправку из трубы.

Сварные трубы изготавливают на трубосварочных агрегатах различными способами: печной сваркой, контактной электросваркой и др. из полос – штрипсов. Процесс получения трубы состоит из получения заготовки в виде свернутой полосы и сварки ее в трубу.

## Технология конструкционных материалов

Особое место занимают станы спиральной сварки. Трубы получают завивкой полосы по спирали на цилиндрических оправках с непрерывной сваркой спирального шва автоматической сварочной головкой.

**Специальный прокат** – продукция законченной формы – венцы зубчатых колес, тракторный башмак, автообод колеса.

**Периодический прокат** – прокат, профиль которого периодически изменяется по длине (вагонные оси, полуоси автомобилей и др.). Периодические профили получают продольной, поперечной и винтовой прокаткой.

Инструментом прокатного производства являются валки (рис. 3.2). Они бывают гладкие для прокатки листов и лент, ступенчатые – для прокатки листовой стали, ручьевые – для получения сортового проката.

Валки состоят из бочки – рабочей части валка, шейки, которая опирается на подшипники станин и трэф, имеющих форму крестовин для шарнирного соединения со шпинделем.

Профиль выреза на боковой поверхности валка называется **ручьем**. Ручей верхнего и нижнего валка образуют **калибр**. На каждой паре валков делают несколько калибров. Необходимый профиль на исходной заготовке получают путем последовательного пропуска заготовки через серию калибров.

Оборудованием для прокатки служат прокатные станы. Они состоят из рабочей клетки (клетей), передаточного механизма и электродвигателя. Станы классифицируют по трем основным признакам:

1. По назначению.
2. По расположению рабочих клеток.
3. По количеству валков в рабочей клетке.

По назначению прокатные станы делятся на:

а) обжимные и заготовительные – предназначены для получения полупродукта. На обжимных станах получают:

- блюм, имеет квадратное сечение с размерами, мм  
125×125...450×450.

Исходной заготовкой при прокатке блюмов являются слитки весом 6...10 тонн, прокатка осуществляется на блюмингах.

- сляб, имеет прямоугольное сечение с размерами, мм  
толщина S=50...300  
ширина B=400...1800.

Исходной заготовкой при прокатке слябов является слиток весом до 25 тонн, прокатка осуществляется на слябинге.

Технологический процесс производства блюмов и слябов состоит из следующих основных операций:

- нагрев слитков до 1300 °С;
- прокатка;
- резка раската на мерные куски длиной 2...6 м специальными ножницами (усилием до 2000тонн);
- охлаждение, удаление поверхностных дефектов.

Прокатку производят в калибрах с обжатием в двух взаимно перпендикулярных направлениях за 12...15 пропусков за 1...2 мин.

Технология конструкционных материалов

На заготовительных станах получают:

- заготовки с квадратным сечением, мм  
40×40...200×200.

Исходной заготовкой при прокатке заготовки являются блюмы.

- сутунку с прямоугольным сечением, мм  
толщина  $S = 6...50$   
ширина  $B = 150...600$ .

Сутунку прокатывают из слябов.

б) рельсобалочные – для прокатки рельсов, балок, швеллеров, уголков и других профилей из блюмов и слябов;

в) сортовые – для получения крупно-, средне- и мелкосортной стали. Заготовками для прокатки крупносортной стали являются блюмы и слябы, для прокатки средне- и мелкосортной стали – заготовки различных размеров;

г) проволочные – для прокатки проволоки – катанки диаметром 5...12 мм. Меньшие размеры получают волочением;

д) листопрокатные. Делятся на толстолистовые и тонколистовые. Толстые листы, толщиной более 4 мм, катают из слябов, тонкие 0,2-3,75 мм катают из сутунки;

е) трубoproкатные – служат для прокатки сварных и бесшовных труб;

ж) колесо- и бандажепрокатные, служат для получения железнодорожных колес и бандажей.

По количеству валков в рабочей клети и их расположению станы бывают двухвалковые (дуо): нереверсивные и реверсивные; трехвалковые (трио), четырехвалковые (кварто), многовалковые и универсальные (рис. 3.5).

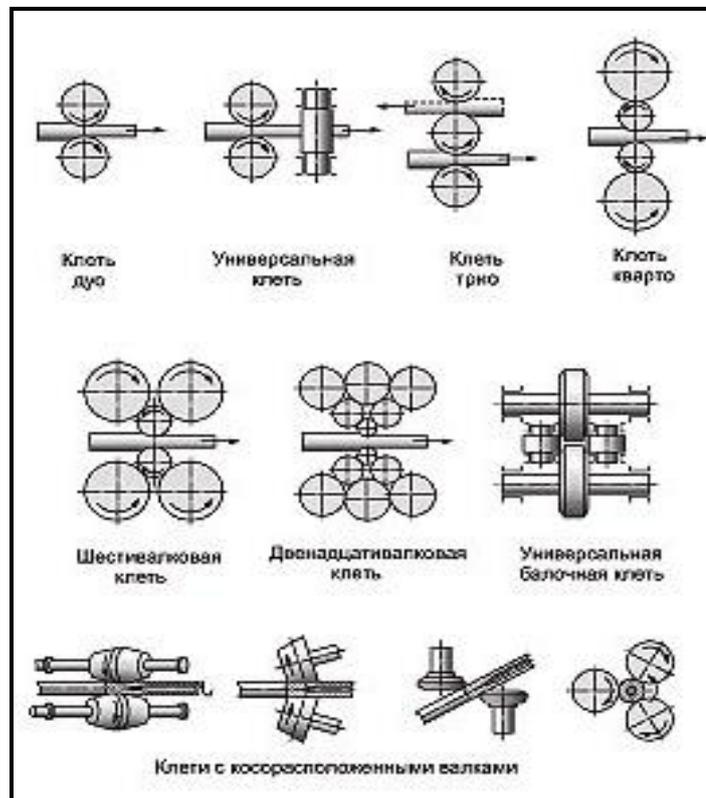


Рис. 3.5

Технология конструкционных материалов

Сущность **волочения** состоит в том, что заготовка (чаще всего в холодном состоянии) протягивается через отверстие в волоке (фильере), поперечное сечение которого меньше поперечного сечения заготовки.

Степень деформации  $\varepsilon$  составляет для сталей 10...19 %, для цветных металлов до 36 %.

$$\varepsilon = \frac{F_o - F_1}{F_o} ,$$

где:  $F_o$  – площадь поперечного сечения заготовки до волочения;

$F_1$  – площадь поперечного сечения заготовки после волочения.

Волочение применяется:

- для изготовления тонкой проволоки, которую нельзя получить прокаткой (диаметром 10...0,002 мм);
- для получения тонкостенных труб;
- для калибровки – придания точных размеров и высокого качества поверхности;
- для получения фасонных профилей.

Исходным материалом для волочения являются горячекатаный сортовой прокат (круглый, квадратный, шестигранный и др.), проволока, трубы из стали, цветных металлов и сплавов.

Перед волочением производится отжиг или нормализация для получения мелкозернистой структуры. Окалина, образующаяся в процессе горячей прокатки, вызывает быстрый износ волочильного инструмента, поэтому для ее удаления применяется травление в 10...25 % растворе серной кислоты. Затем металл подвергают промывке для того, чтобы снять травильный слой. После этого производят заострение концов под молотом или в ковочных вальцах и подают для волочения в волочильные станы. Так как после волочения образуется наклеп, то готовая продукция подвергается отжигу.

Инструментом для волочения является волока или фильер (рис. 3.6, а). Волока имеет по длине четыре характерные зоны:

- I – входной или смазочный конус для введения заготовки в волоку с углом ~ 40 °;
- II – рабочий или деформирующий конус с углом 10...24 °;
- III – калибрующая часть (цилиндрической формы);
- IV – выходной конус с углом 45...60 °.

Технология конструкционных материалов

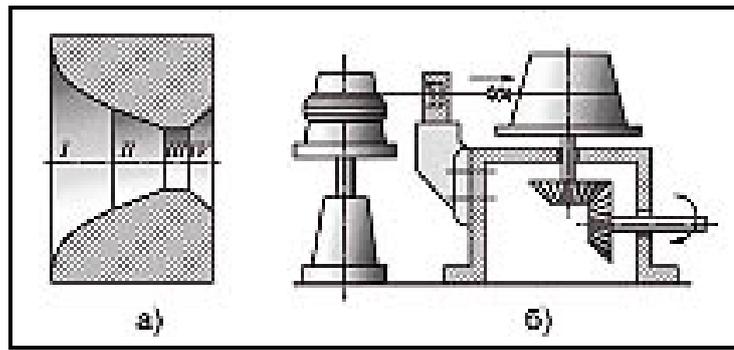


Рис. 3.6

Волоки изготавливают из инструментальных сталей и твердых сплавов ВК6, ВК8. Для получения проволоки с диаметром менее 1,2 мм волокни изготавливают из алмаза.

Волоки с одним глазком называются фильером, с несколькими – волоочильной доской.

Максимальное обжатие за одну протяжку ограничено. При этом напряжение волочения  $\sigma_Z$ , представляющее собой отношение тянущего усилия к площади поперечного сечения прутка (проволоки) после прохода через волоку, не должно превышать предела прочности материала  $\sigma_{BP}$ , т.е.

$$\sigma_Z < \sigma_{BP},$$

где:  $\sigma_Z = \frac{P}{F_1}$ . Здесь  $P$  – усилие волочения, Н;  $F_1$  – площадь сечения прутка после волочения, мм<sup>2</sup>.

В качестве оборудования для волочения применяют волоочильные станы (3.6, б), которые по принципу работы тянущих устройств делятся на две группы:

- 1) с прямолинейным движением тянущих устройств – цепные, реечные и др.
- 2) с наматыванием обрабатываемого металла на барабан – барабанные.

Для уменьшения потерь на трение применяются смазки жидкие и твердые. Твердой смазкой служит мыло, жидкой – смесь масла с графитом.

Готовая продукция подвергается контролю. Контролируется ее геометрия, химический состав, механические, технологические и физические свойства, структура и т.д. Трубы дополнительно подвергаются гидравлическим испытаниям.

**Прессованием** называется процесс выдавливания металла заготовки из замкнутой полости инструмента-контейнера через отверстие матрицы с площадью меньшей, чем площадь поперечного сечения заготовки.

Прессованию подвергается главным образом цветные металлы и сплавы (олово, свинец, медь и ее сплавы), а в некоторых случаях сталь.

В качестве исходного материала служат слитки, а также предварительно деформированные кованные или катаные заготовки диаметром до 500 мм и более и длиной до 1200 мм. Черные металлы и сплавы прессуют в горячем состоянии,

Технология конструкционных материалов

цветные – как в горячем, так и в холодном. Нагрев осуществляется в газовых или электрических методических печах.

Применяются два метода прессования – прямой и обратный. При прямом методе прессования (рис. 3.7) заготовку укладывают в полость контейнера. Давление пресса передается на заготовку пуансоном через пресс-шайбу. При этом металл вынужден выдавливаться через матрицу, укрепленную в матрице-держателе. Матрица и пуансон перед началом работы нагреваются до 200...300 °С. Истечение металла происходит в направлении движения пуансона. При обратном методе прессования контейнер закрыт с одного конца упорной шайбой, а давление пресса передается через полый пуансон с укрепленной на нем матрицей на заготовку. Истечение металла из отверстия матрицы происходит в направлении обратном движению пуансона.

Обычно выдавить полностью из контейнера весь металл заготовки не удается. Часть металла, остающаяся в контейнере, называют пресс-остатком. Этот металл удаляется отрезкой. Отходы металла составляют: при прямом методе 12...15 %, при обратном методе 5...6 %.

При прямом методе прессования преодолевается трение металла о матрицу и стенки контейнера, при обратном методе трение возникает только при перемещении металла через матрицу.

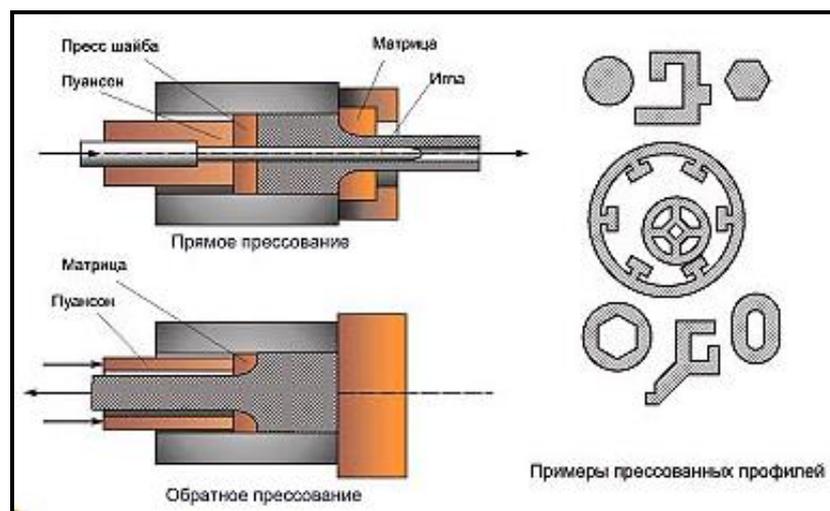


Рис. 3.7

Контейнер и матрица смазываются смесью машинного масла с графитом во избежание приваривания металла к стенкам. Часто в качестве смазки используют жидкое стекло.

Оборудованием для прессования служат гидравлические прессы усилием до 25 тысяч тонн. При прямом прессовании в силу вышеуказанных причин усилия затрачиваются больше, чем при обратном методе. Однако обратный метод прессования получил меньшее распространение ввиду сложности конструкции пуансона и прессы, меньшей производительности и более низкого качества поверхности.

Технология конструкционных материалов

После прессования изделия подвергают термообработке – отжигу, закалке, старению. Степень деформации  $\varepsilon$  может достигать 90 %.

К положительным сторонам прессования относят: более высокую точность изготовления профилей по сравнению с прокаткой; высокую производительность; возможность получения сложных профилей.

Недостатки: значительный износ инструмента; большие отходы металла (при производстве труб отходы составляют ~ 40 %).

Инструмент изготавливают из высоколегированных сталей – 5ХНВ, 7Х3, 3Х2В8 и др.

**Ковкой** называется процесс горячей обработки металлов давлением, при котором путем многократного действия инструмента, например, бойков металл пластически деформируется, постепенно приобретая заданные форму, размеры и свойства.

Изделие, получаемое ковкой, называют поковкой.

Существует два видаковки: свободная и в штампах.

**Свободной ковкой** (рис.3.8) называется процесс, при котором формообразование поковки происходит под ударами молота или нажимом пресса. Течение металла в стороны свободное и не ограничено поверхностями инструмента.

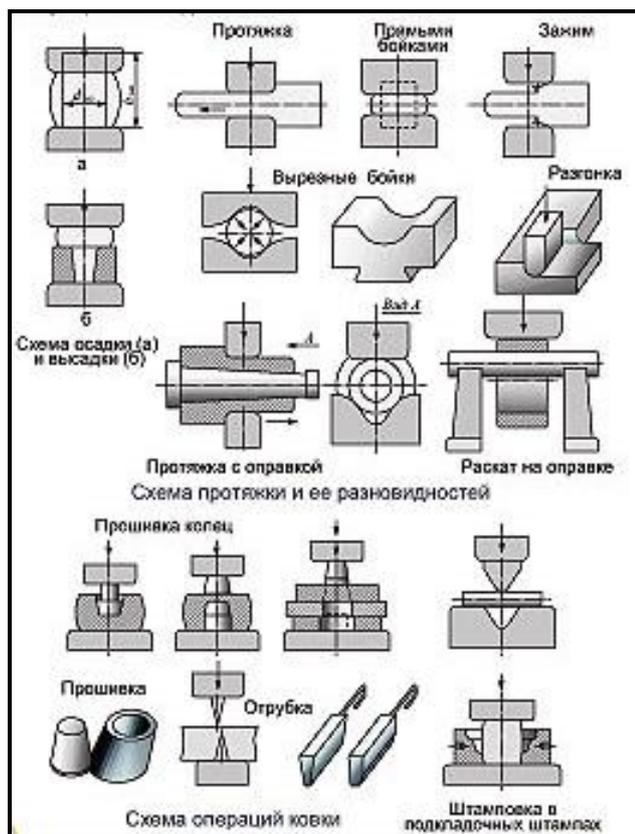


Рис. 3.8

Штамповкой называют ковку в стальных формах-штампах. Течение металла ограничивается поверхностями полостей, вырезанных в штампе.

## Технология конструкционных материалов

Свободная ковка применяется в мелкосерийном и индивидуальных производствах, а также является единственным способом изготовления тяжелых поковок (весом 250 тонн и более) – валы гидрогенераторов, турбинные диски и т.д.

Исходным материалом дляковки служат слитки, блюмы и сортовой прокат. Свободная ковка может быть ручная и машинная. Ручная ковка применяется для небольших поковок при мелких ремонтных работах и выполняется с помощью наковальни и кувалды. Машинная ковка производится на молотах и прессах.

Операциями свободнойковки являются:

1) **Осадка** – уменьшение высоты заготовки за счет увеличения площади поперечного сечения.

Во избежание продольного изгиба отношение высоты осаживаемой заготовки к ее диаметру должно составлять не более 2,5. Вследствие действия сил трения по контактным поверхностям боковая поверхность заготовки приобретает бочкообразную форму.

2) **Высадка** – осадка на части высоты заготовки. Осуществляется нагревом определенной части заготовки или ограничением деформации кольцевым инструментом.

3) **Протяжка** – увеличение длины заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения. Протяжку производят последовательными ударами или нажатиями на отдельные прилегающие друг к другу участки заготовки с подачей заготовки вдоль оси и поворотами ее на 90 ° вокруг этой оси. Протяжку можно выполнять плоскими и фигурными бойками.

4) **Раскатка на оправке** – увеличение диаметра кольцевой заготовки при вращении за счет уменьшения ее толщины с помощью бойка и оправки. Оправка устанавливается в люнете.

5) **Протяжка с оправкой** – операция увеличения длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок. Протягивают в одном направлении–к расширяющему концу оправки 1, что облегчает ее удаление из поковки.

6) **Прошивка** – получение сквозного или глухого отверстия в заготовке. Для выполнения этой операции применяют сплошные или пустотелые *прошивки*. Часть металла, удаляемая в отход вместе с прошивнем, называют *выдрой*.

7) **Разгонка** – операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины.

8) **Гибка** – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы. Применяется для изготовления крюков, коленчатых валов, скоб и т.д.

9) **Закручивание** – поворот части заготовки относительно другой на заданный угол. Применяется при изготовлении коленчатых валов, сверл и т.п. При закручивании используют воротки, лебедки, ключи.

10) **Рубка** – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру. Инструментом служат топоры.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем состоит различие между упругой и пластической деформацией?

2. Почему кованые изделия выдерживают большие степени деформации?

Технология конструкционных материалов

3. Как проявляется и используется анизотропия материалов?
4. На какие виды подразделяется сортовой прокат?
5. Какие валки используются для изготовления листовых материалов?
6. Какие методы используются для изготовления бесшовных труб малого и большого диаметров?
7. Для каких целей используется периодический прокат?
8. Чем холодная прокатка отличается от горячей обработки?
9. Какие операцииковки Вам известны?
10. В чем состоят основные различия обработки в открытых и закрытых штампах?
11. В каких условиях целесообразнее использовать волочение, а в каких – прокат?
12. Отметьте особенности изготовления полых гнутых профилей.

## Лекция 4: «Технология обработки давлением» (продолжение)

Вопросы лекции:

4.1 Горячая объемная штамповка (ГОШ).

4.2 Холодная штамповка.

4.3 Высокоскоростные способы штамповки.

4.4 Формообразование заготовок из порошковых материалов.

### Горячая объемная штамповка

**Горячая объемная штамповка** – это процесс изготовления поковок в штампах.

По сравнению со свободной ковкой штамповка имеет следующие преимущества:

- в 50–100 раз большая производительность;
- большая однородность и точность поковок (припуски и допуски на поковку в 3–4 раза меньше, чем при ковке);
- возможность получения поковок сложной формы, которые нельзя получить свободной ковкой.

Однако штамповке свойственны и некоторые недостатки:

- ограниченность штампуемых изделий по весу – до 200 кг (иногда до 1500 кг);
- каждая поковка требует свой штамп, а это сложный в изготовлении и дорогой инструмент.

Полость штампа, которую заполняет металл при штамповке, называют ручьем. Различают штамповку в открытых и в закрытых штампах (рис. 4.1).

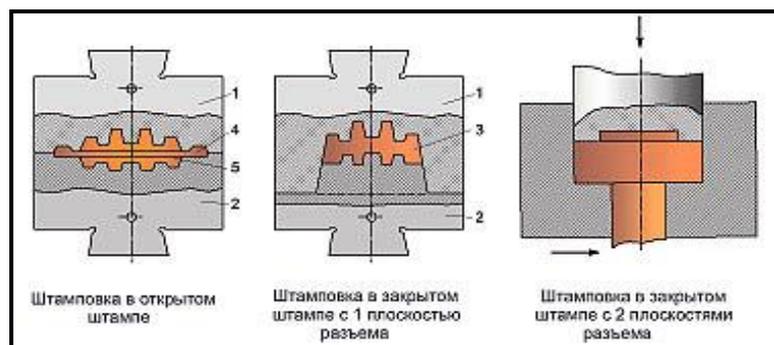


Рис. 4.1

В открытых штампах между подвижной 1 и неподвижной 2 частями штампа имеется зазор – заусеночная (или облойная) канавка 4, в которую вытекает избыточный объем металла при штамповке. Образующийся при этом облой или заусенец затем обрезается на специальных обрезных штампах.

Заусеночная канавка имеет следующее назначение:

- в нее вытекает избыточный объем металла;

## Технология конструкционных материалов

- при соударении верхней и нижней половин штампа заусенец предохраняет штамп от жесткого удара, что способствует продлению срока службы штампа;

- быстрое остывание заусенца создает в конце штамповки большое сопротивление течению металла, что способствует лучшему заполнению ручья штампа.

Для штамповки в открытых штампах характерны следующие особенности:

- объем металла заготовки, находящийся в ручье, не постоянен, часть металла вытекает в заусенец, поэтому к точности заготовки по объему высоких требований не предъявляется;

- по месту обрезки заусенца у поковки волокна металла оказываются перерезанными;

- в открытых штампах делаются специальные штамповочные уклоны в ручьях для облегчения извлечения готовой поковки (3...10°).

В закрытых штампах (рис.4.1) деформирование металла протекает в закрытой полости.

Для штамповки в закрытых штампах характерны следующие особенности:

- штамповка происходит без образования заусенца, и в этом случае расход металла меньше, но предъявляются повышенные требования к точности объема заготовки.

- макроструктура поковок весьма благоприятна, так как волокна обтекают контур и нигде не перерезаются после штамповки;

- при штамповке без облоя нужны специальные выталкивающие устройства для извлечения поковки из штампа.

Штамповку целесообразно применять в крупносерийном и массовом производстве.

В зависимости от сложности конфигурации поковки для ее изготовления применяют либо одноручьевую штамповку, выполняемую в штампе с одним ручьем, либо многоручьевую штамповку, выполняемую последовательно в штампе, имеющем несколько ручьев. Обработку заготовок в одном ручье штампа называют переходом. Чем сложнее поковка по форме, тем большее число переходов требуется для ее получения.

Ручьи в штампах разделяются на заготовительные и штамповочные. Заготовительные предназначены для перераспределения металла заготовки с целью приближения ее формы к форме поковки. В заготовительных ручьях производят: осадку, протяжку, формовку, подкатку, пережим, гибку, отрубку.

Ручьи для получения окончательно оформленной поковки называют штамповочными. Штамповочных ручьев два: черновой или предварительный и чистовой или окончательный. Черновой ручей служит главным образом для повышения стойкости чистового ручья. Чистовой ручей является точной копией поковки, но с размерами, большими на величину усадки металла при охлаждении (около 1,5 %). По периметру чистового ручья располагается облойная канавка. Черновой ручей облойной канавки не имеет. Поскольку штамповка в окончательном ручье требует наибольшего усилия, чем в остальных ручьях, его

располагают обычно в центре штампа с целью предохранения от поломки самого штампа и оборудования, на котором он установлен.

В качестве заготовок для штамповки используют сортовой и периодический прокат, заготовки, подготовленные ковкой.

ГОШ осуществляется на штамповочных молотах, кривошипных горячештамповочных прессах, горизонтально-ковочных машинах и т.д.

### Холодная штамповка

Холодной называют штамповку без нагрева заготовок. Ее разделяют на объемную и листовую.

**Холодная объемная штамповка (ХОШ)** позволяет почти полностью исключить обработку резанием. Основные виды холодной объемной штамповки: выдавливание, высадка, объемная формовка и калибровка (чеканка). Холодное выдавливание аналогично прессованию, а холодная высадка, объемная формовка и калибровка аналогичны соответствующим процессам горячей объемной штамповки. Но они обеспечивают достижение большей точности и более качественной поверхности деталей (шероховатость поверхности  $R_a = 0,4$  мкм, допуски 0,02...0,05 мм).

В качестве заготовок для ХОШ чаще всего применяют прутковый материал из углеродистых, легированных сталей, цветных металлов и их сплавов, обладающих в холодном состоянии необходимой пластичностью. Большое значение имеет подготовка поверхности заготовок: удаление загрязнений, поверхностных дефектов и т.д.

Штамповку осуществляют в тех же штампах, которые применяются для горячей обработки. Объемная штамповка производится **выдавливанием** (рис. 4.2) или **высадкой** (рис. 4.3).

**Выдавливание** – образование заготовки путем пластического течения материала в полости штампа.

Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание.

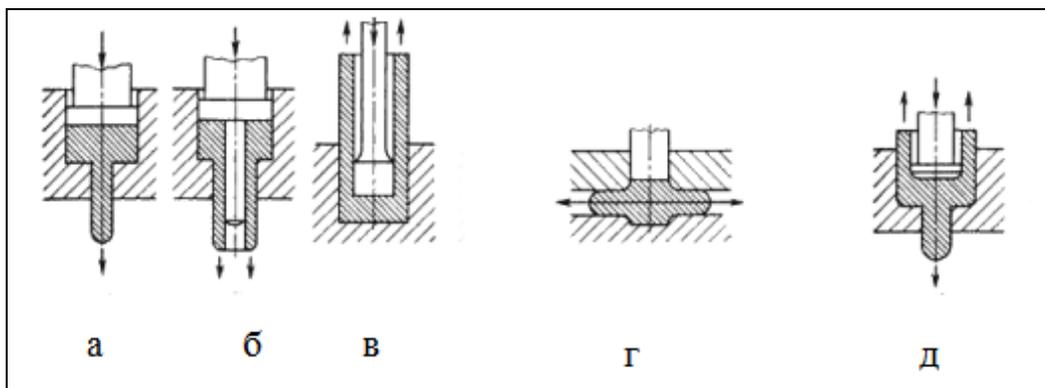


Рис. 4.2

При прямом выдавливании металл течет из матрицы в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона (рис.4.2, а, б). Этим способом

Технология конструкционных материалов

можно получить детали типа стержня с утолщением, трубки с фланцем, стаканы 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. 4.2, в).

При боковом выдавливании металл течет в боковые отверстия матрицы под углом к направлению движения пуансона (рис. 4.2, г). Таким образом, можно получить детали типа тройников, крестовин и т.п.

При комбинированном выдавливании металл течет по нескольким направлениям (рис. 4.2, д). Возможны сочетания различных схем.

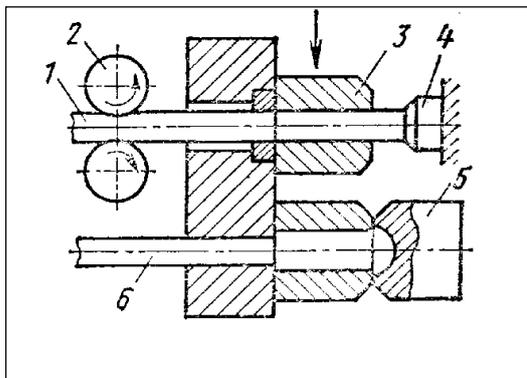
Пластическое деформирование выдавливанием происходит в условиях неравномерного всестороннего сжатия и обеспечивают высокую степень деформации.

Из-за высокой стоимости штампов выдавливание целесообразно применять в условиях крупносерийного и массового производства.

**Высадка** – образование на заготовке местных утолщений требуемой формы в результате осадки ее конца. Применяется при изготовлении широкого ассортимента деталей в массовом производстве: болтов, винтов, гаек, заклепок, гвоздей, спиц и т.д.

Исходной заготовкой служат проволока или прутки (рис. 4.3). Выполняют высадку на холодно-высадочных автоматах.

В первом переходе ролики 2 подают пруток 1 до упора 4, после чего матрица 3 перемещается на позицию высадки, отрезая от прутка мерную заготовку.



Во втором переходе ударом высадочного пуансона 5 производится высадка головки. После возвращения пуансона в исходное положение заклепка выталкивается толкателем 6, который также возвращается в исходное положение, а матрица вновь уходит на линию подачи.

Рис. 4.3

Производительность автоматов достигает 400 изделий в минуту. По сравнению с изготовлением резанием высадка обеспечивает до 30...40 % экономии металла.

**Листовая штамповка** – способ изготовления плоских и объемных тонкостенных изделий из заготовки в виде ленты, полосы, рулона.

Характеризуется высокой производительностью, стабильностью качества и точности, низкой себестоимостью изготавливаемых деталей, возможностью полной автоматизации. Производительность листовой штамповки – до 40 тысяч деталей в смену.

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.

Технология конструкционных материалов

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. Используется также биметаллический и многослойный лист.

Операции листовой штамповки подразделяются на разделительные и формоизменяющие.

В разделительных операциях (рис. 4.4) этап пластического деформирования материала обязательно завершается его разрушением. К разделительным операциям относят:

1. **Отрезка** – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем сдвига. Отрезка осуществляется на ножницах с параллельными ножами, с наклонно расположенными ножами (гильотинные), с помощью дисковых ножей, с помощью отрезных штампов. В ножницах с прямолинейным движением ножей (рис. 4.4, а) в боковых направляющих станины вверх и вниз перемещается ползун с укрепленным на нем верхним ножом; нижний нож укреплен неподвижно в станине. Подъем и опускание верхнего ножа осуществляется кривошипно-шатунным механизмом. Разрезаемый лист укладывается на стол ножниц и прижимается к нему пневматическим или гидравлическим прижимами. В гильотинных ножницах режущие кромки ножей с целью уменьшения усилия резания наклонены друг к другу под углом створа  $\alpha = 1 \dots 5$  градусов. Лист подают до упора, определяющего ширину отрезаемой полосы. Длина отрезаемой полосы  $L$  не должна превышать длины ножей.

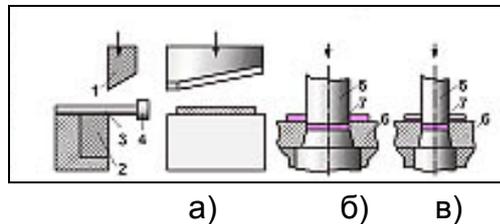


Рис. 4.4

2. **Вырубка** – отделение части заготовки по замкнутому контуру, при этом отделяемая часть является изделием (рис. 4.4, б).

Пробивка – отделение части заготовки по замкнутому контуру, при этом отделяемая часть является отходом (рис. 4.4, в).

Формоизменяющие операции – это операции, посредством которых плоская заготовка превращается в пространственную деталь требуемой формы без изменения толщины материала. Основные формообразующие операции: (рис.4.5) правка (а), гибка (б), вытяжка (в, г), обжим (д), раздача (е), отбортовка (ж).

Технология конструкционных материалов

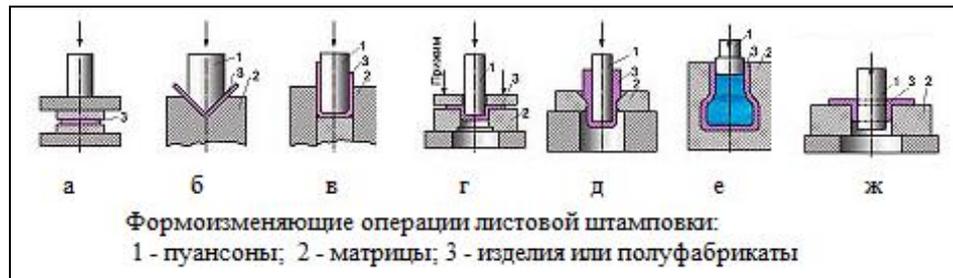


Рис. 4.5

1. **Правка** – исправление вмятин на поверхности изделия.

2. **Гибка** – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы. Гибку (рис. 4.5, б) производят в штампах, а также вращающимися фигурными роликами, играющими роль матрицы, на профилегибочных станках.

Гибка осуществляется в результате упругопластической деформации, при которой наряду с пластической происходит значительная упругая деформация металла. Поэтому после гибки растянутые и сжатые слои металла стремятся возвратиться в исходное положение. Вследствие этого форма детали после гибки не будет соответствовать форме штампа на величину угла пружинения, который необходимо учитывать при изготовлении инструмента. Угол пружинения равен 1...8 градусов.

С уменьшением радиуса скругления пуансона  $R$  возрастает вероятность образования трещин, идущих от наружной поверхности в толщину заготовки.

3. **Вытяжка** – образование полого изделия из плоской или полый заготовки. Вытяжку осуществляют в вытяжных штампах на кривошипном прессе.

Различают вытяжку без утонения стенки и с утонением стенки. Вытяжкой без утонения стенки получают полую деталь из листа без изменения его толщины. Вытяжка с утонением стенки, при которой длина полый детали увеличивается за счет утонения боковых стенок. Допустимое уменьшение толщины стенок за один проход составляет 40–60 %.

4. **Обжим** – уменьшение периметра поперечного сечения концевой части полый заготовки.

Производится заталкиванием заготовки в сужающуюся полость матрицы.

Для большего формообразования делают несколько последовательных операций обжима.

5. **Раздача** – увеличение периметра поперечного сечения концевой части полый заготовки. Раздача – операция, противоположная обжиму.

В качестве инструмента при листовой штамповке используют штампы. По технологическому признаку различают штампы простого, последовательного и совмещенного действия. Штампы простого действия – однооперационные, штампы последовательного и совмещенного действия – многооперационные.

В штампе простого действия за один ход ползуна выполняется одна операция.

Технология конструкционных материалов

В штампе последовательного действия за один ход ползуна выполняется одновременно две или большее число операций в различных позициях, а заготовка после каждого хода пресса перемещается на шаг подачи.

В штампе совмещенного действия за один ход ползуна пресса две и большее число операций выполняются в одной позиции без перемещения заготовок в направлении подачи.

6. **Отбортовка** – образование борта (горловины) вокруг отверстия в заготовке. При отбортовке мелких отверстий стремятся совмещать отбортовку с пробивкой.

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

Холодную листовую штамповку осуществляют в основном на кривошипных прессах. Для крупногабаритных изделий из толстых листов применяются гидравлические прессы.

**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: электрогидравлическая (рис. 4.6, а) и электромагнитная (рис. 4.6, б) штамповка и штамповка взрывом (рис. 4.7).

**Электрогидравлическую штамповку** осуществляют в бассейне 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.

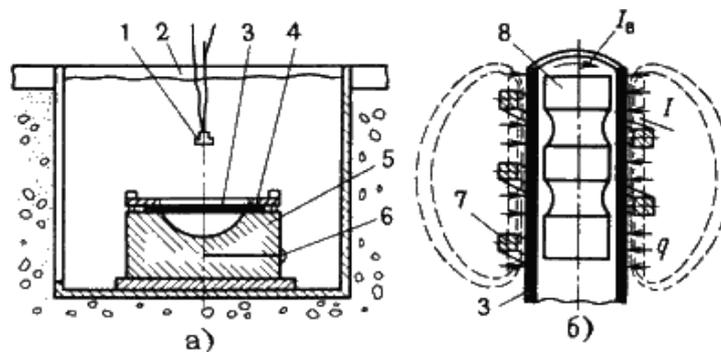


Рис. 4.6

При **электромагнитной штамповке** 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  $I_B$  с магнитным полем индуктора создает механические силы  $Q$ , деформирующие заготовку. Для электромагнитной штамповки трубчатых и плоских заготовок созданы установки, на которых можно проводить обжим, раздачу, формовку и операции получения неразъемных соединения деталей.

**Штамповка взрывом** осуществляется в бассейнах, наполненных водой (рис. 4.7). Заготовку, зажатую между матрицей и прижимом опускают в бассейн с водой. Полость матрицы под заготовкой вакуумируется при помощи вакуумной линии.



Заряд с детонатором подвешивают в воде над заготовкой. Взрыв образует волну высокого давления, которая, достигая заготовки, вызывает ее разгон. Процесс штамповки длится тысячные доли секунды, а скорости перемещения заготовки соизмеримы со скоростями распространения пластических деформаций в металле.

Рис. 4.7

### Формообразование заготовок из порошковых материалов

Заготовки из порошковых материалов получают прессованием (холодным, горячим), изостатическим формованием, прокаткой и другими способами.

При холодном прессовании (рис. 4.8, а) в пресс-форму 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 получают с различной прочностью и пористостью по высоте. В зависимости от размеров и сложности прессуемых заготовок применяют одно- и двустороннее прессование.

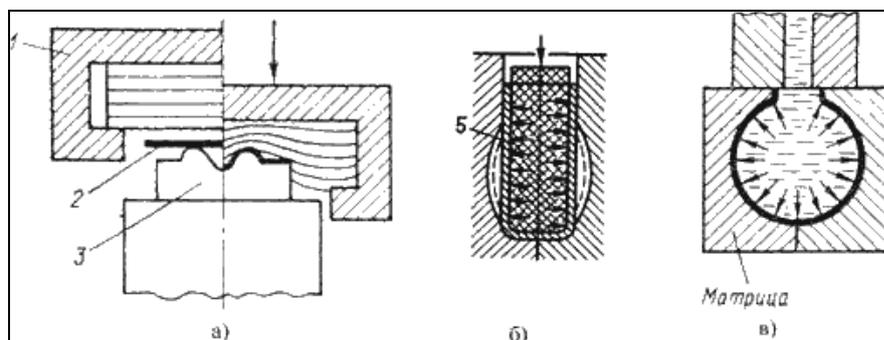


Рис. 4.8

Технология конструкционных материалов

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. 4.8, б) применяют для формообразования 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, характеризующиеся 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.

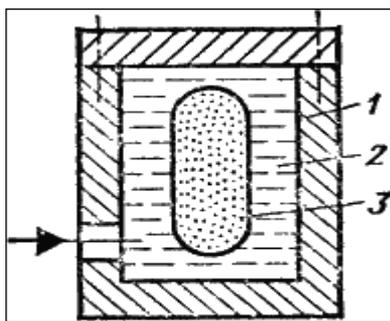


Рис. 4.9

При гидростатическом формовании (рис.4.9) 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.

Прокатка – наиболее производительный и перспективный способ переработки порошковых материалов. Характерной особенностью является высокая степень автоматизации и непрерывность прокатки. Схема прокатки представлена на рис. 4.10.

Технология конструкционных материалов

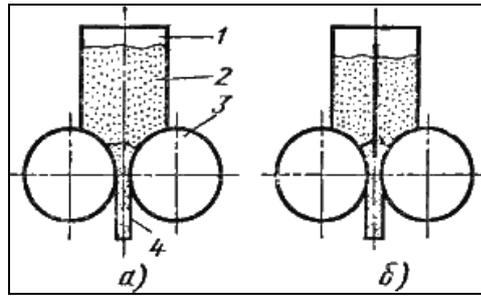


Рис. 4.10

Порошок непрерывно поступает из бункера 1 в зазор между валками. 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 через печь для спекания, а затем снова подвергается прокатке для получения листов заданных размеров. Применяя бункеры с перегородкой (рис. 4.10, б) изготавливают ленты из разных материалов (двухслойные). Применение валков определенной формы позволяет получать валки различного профиля, в том числе и проволоку.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие разновидности ГОШ знаете?
2. Назовите отделочные операции ГОШ.
3. Для деталей какого вида применяется холодная объемная штамповка?
4. Назовите разделительные операции листовой штамповки.
5. Назовите формообразующие операции листовой штамповки.
6. Какое оборудование применяется для листовой штамповки?
7. Чем отличается штамповка взрывом от электроимпульсной?
8. Как определяется коэффициент вытяжки при листовой штамповке?
9. Поясните сущность магнитно-импульсной штамповки?

## Лекция 5: «Сварка и пайка металлов»

Вопросы лекции:

- 5.1 Сущность и классификация сварки.
- 5.2 Термические виды сварки.
- 5.3 Термомеханические способы сварки.
- 5.4 Пайка металлов.

### Сущность и классификация сварки

**Сварка** – технологический процесс 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, оплавливая 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.

Существует множество технологических процессов 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.

### Термические виды сварки

При дуговой сварке 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. 5.1):

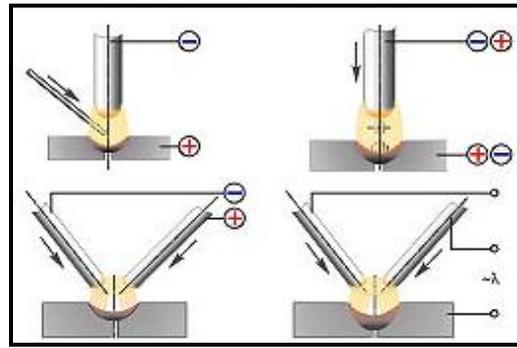


Рис. 5.1

1) **сварка неплавящимся** (графитовым или вольфрамовым) электродом дугой прямого действия (рис. 5.1), при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла, либо с применением присадочного металла;

2) **сварка плавящимся** электродом (металлическим) дугой прямого действия с одновременным расплавлением основного металла и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом (рис. 5.1);

3) **сварка косвенной дугой**, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами, при этом основной металл нагревается и расплавляется теплотой столба дуги (рис. 5.1);

4) **сварка трехфазной дугой**, при которой дуга горит между каждым электродом и основным металлом (рис. 6.1.г).

Разновидности дуговой сварки различают по способу защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса.

**Ручную дуговую сварку** выполняют сварочными электродами, которые подают вручную в дугу и перемещают вдоль заготовки. В процессе сварки металлическим покрытым электродом (рис. 5.2) дуга горит между стержнем электрода и основным металлом.

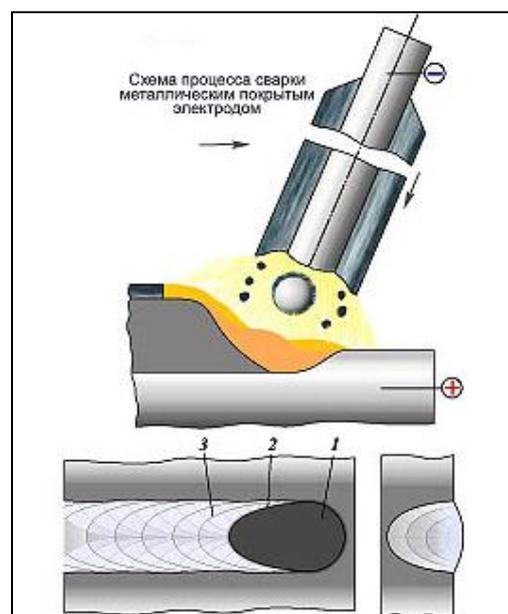


Рис. 5.2

Технология конструкционных материалов

Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в сварочную ванну 1. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода, образуя защитную газовую атмосферу вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну на поверхности расплавленного металла. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов. Жидкий шлак образует твердую шлаковую корку.

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.

Для **автоматической дуговой сварки под флюсом** используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха.

Схема автоматической дуговой сварки под флюсом представлена на рис. 5.3.

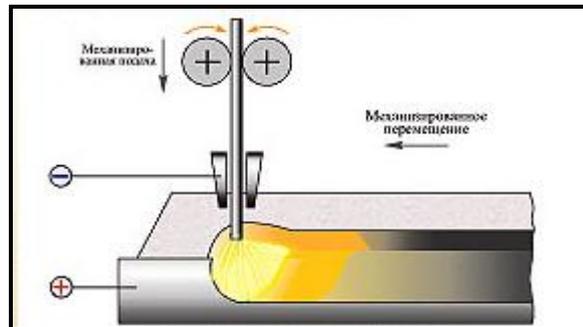


Рис. 5.3

Подача и перемещение электродной проволоки механизированы. Автоматизированы процессы зажигания дуги и заварки кратера в конце шва. Дуга горит между проволокой и основным металлом. Столб дуги и металлическая ванна жидкого металла со всех сторон плотно закрыты слоем флюса толщиной 30...50 мм. Часть флюса плавится и образуется жидкий шлак, защищающий жидкий металл от воздуха. Качество защиты лучше, чем при ручной дуговой сварке. По мере поступательного движения электрода металлическая и шлаковая ванны затвердевают с образованием сварного шва, покрытого твердой шлаковой коркой. Проволоку подают в дугу с помощью механизма подачи. Ток к электроду подводят через токопровод.

Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла.

Преимущества автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной: повышение производительности процесса сварки в 5...20 раз, повышение качества сварных соединений и уменьшение себестоимости 1 м сварного шва.

Применяемые флюсы различают по назначению.

Флюсы для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей предназначены для раскисления шва и легирования его марганцем и кремнием.

## Технология конструкционных материалов

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, безкремнистые 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.

При **дуговой сварке в защитных газах** электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены струей защитного газа (инертного – аргон, гелий; активного – углекислый газ, азот, водород).

Сварку в инертных газах можно выполнять неплавящимся и плавящимся электродами.

В качестве неплавящегося электрода применяется прутки вольфрама, а в качестве плавящегося – проволока 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 содержанием 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).

При **плазменной сварке** плазменная струя, применяемая для сварки, представляет собой направленный поток частиц или полностью ионизированного газа, имеющего температуру 10000...20000 °С. Плазму получают в плазменных горелках, пропуская газ через столб сжатой дуги. В качестве плазмообразующих газов применяют азот, аргон, водород, гелий, воздух и их смеси.

Технология конструкционных материалов

Применяют два основных плазменных источника нагрева: плазменную струю, выделенную из столба косвенной дуги (рис.5.4, а) и плазменную дугу, в которых дуга прямого действия совмещена с плазменной струей (рис.5.4, б).

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 тугоплавки материалов.

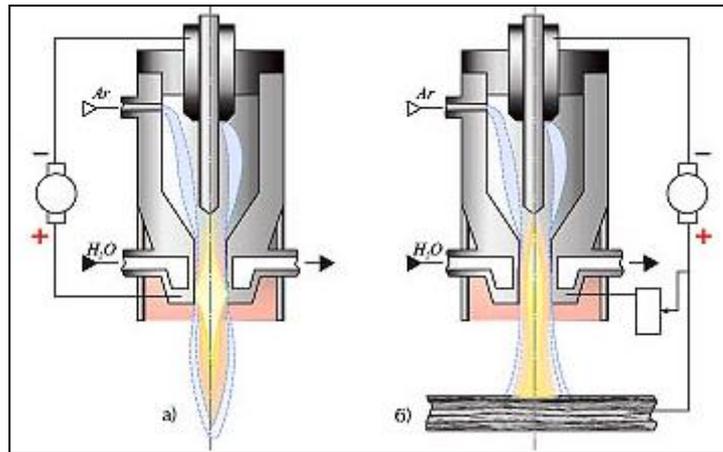


Рис. 5.4

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. Так как плазменная дуга обладает высокой стабильностью, то обеспечивается повышенное качество сварных швов. Это позволяет выполнять микроплазменную сварку металла толщиной 0,025...0,8 мм.

Недостаток плазменной сварки – недолговечность горелок.

При **электрошлаковой сварке** 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. 5.5).

Свариваемые заготовки 1 устанавливают в вертикальном положении. В замкнутое пространство между водоохлаждаемыми медными ползунами 3 и вертикально установленными кромками изделий засыпают флюс и подают электродную проволоку 6 при помощи специального механизма подачи.

В начале процесса возбуждают дугу, флюс плавится и образуется электропроводный шлак 2. Шлак шунтирует дугу, она гаснет, выходная цепь источника питания замыкается через шлак. Ток, проходя через шлак, разогревает его, это приводит к расплавлению кромок основного металла и электрода.

Технология конструкционных материалов

Расплав стекает вниз и образует сварочную ванну 4, 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, которые затем удаляют газовой резкой.

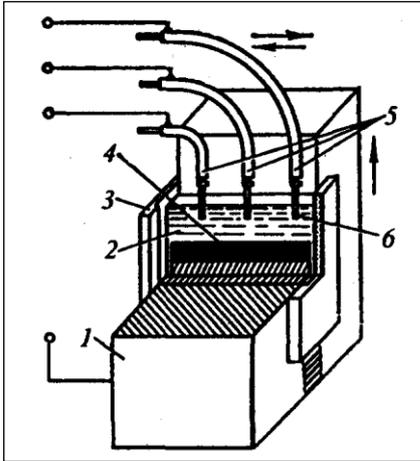


Рис. 5.5

Преимущества: возможна сварка металла любой толщины (с 16 мм). Заготовки с толщиной до 150 мм можно сваривать одним электродом, совершающим поперечное колебание в плоскости стыка, при толщине более 150 мм используются нескольких проволок. Есть опыт сварки толщиной до 2 м.

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.

Сущность процесса при **электронно-лучевой сварке** 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...6000 °С. Перемещая электронный луч вдоль стыка, получают сварной шов.

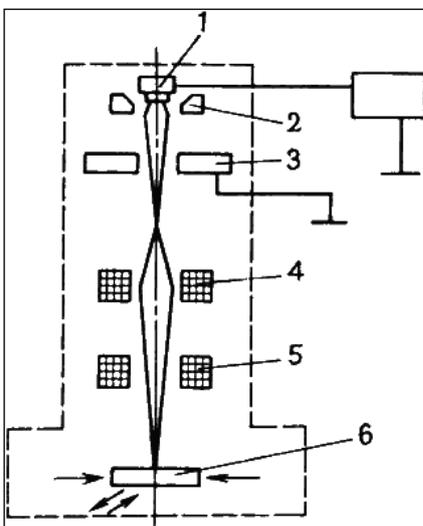


Рис. 5.6

Схема установка для электронно-лучевой сварки представлена на рис. 5.6

Электроны, 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...150 кВ и выше, затем фокусируются в виде луча и направляются специальной отклоняющей магнитной системой 5 на обрабатываемое изделие 6. На формирующий электрод 2 подается отрицательный или нулевой по отношению к катоду потенциал. Фокусировкой

## Технология конструкционных материалов

достигается высокая удельная мощность луча. Ток электронного луча невелик – от нескольких миллиампер до единиц ампер.

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.

При **лазерной сварке** 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 обуславливает и чрезвычайно 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.

При **газовой сварке** газовое пламя получают при сгорании горючего газа в атмосфере технически чистого кислорода (рис. 5.7). Мощность пламени регулируют сменой наконечников горелки. Заготовки и присадочный материал в виде прутка или проволоки расплавляют высокотемпературным пламенем газовой горелки.

Технология конструкционных материалов

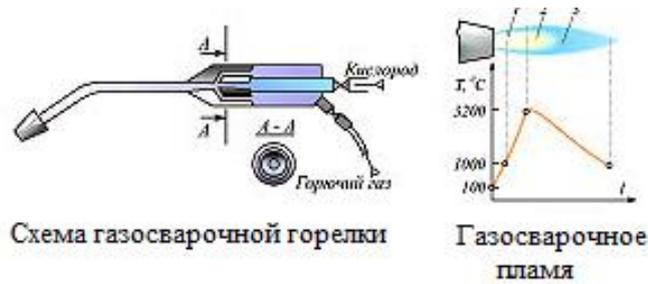


Рис. 5.7

Нагрев заготовки осуществляется более плавно, чем при дуговой сварке, поэтому газовую сварку применяют для сварки металла малой толщины (0,2...3 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.

**Термомеханические способы сварки**

Сущность получения неразъемного сварного соединения двух заготовок в твердом состоянии состоит в сближении идеально чистых соединяемых поверхностей на расстояния  $(2...4) \cdot 10^{-10}$  см, при которых возникают межатомные силы притяжения.

Необходимым условием получения качественного соединения в твердом состоянии являются хорошая очистка и подготовка поверхностей и наличие сдвиговых пластических деформаций в зоне соединения в момент сварки.

При **контактной сварке** сварные соединения получаются 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...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. 5.8 и 5.9.

**Стыковая контактная сварка** (рис. 5.8) – способ соединения деталей по всей плоскости их касания.

Свариваемые заготовки плотно зажимают в неподвижном и подвижном токоподводах, подключенных к вторичной обмотке сварочного трансформатора. 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 силой Р – осадка.

Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют **сваркой сопротивлением**, а при разогреве

Технология конструкционных материалов

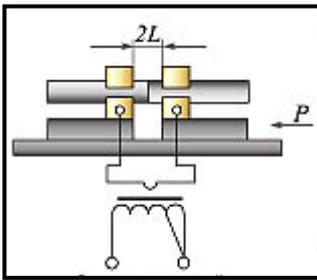


Рис. 5.8

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** – способ изготовления листовых или стержневых конструкций, позволяющий получить прочные соединения в отдельных точках.

Она проводится аналогично стыковой сварке только свариваемые заготовки, собранные внахлест, зажимают между неподвижным и подвижным электродами, подсоединенными к обмотке трансформатора.

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. 5.9) – способ соединения деталей швом, состоящим из отдельных сварных точек.

Свариваемые заготовки помещают между двумя роликами-электродами, один из электродов может иметь вращательное движение, а другой – вращательное движение и перемещение в вертикальном направлении. Электроды подключаются к вторичной обмотке трансформатора. Электроды-ролики зажимают и передвигают деталь.

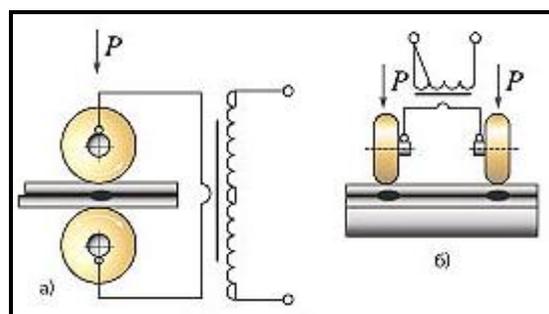


Рис. 5.9

Шовная сварка обеспечивает получение прочных и герметичных соединений из листового материала толщиной до 5 мм.

**Диффузионная сварка** – способ сварки давлением в вакууме приложении сдвигающих сил при повышенной температуре (рис. 5.10).

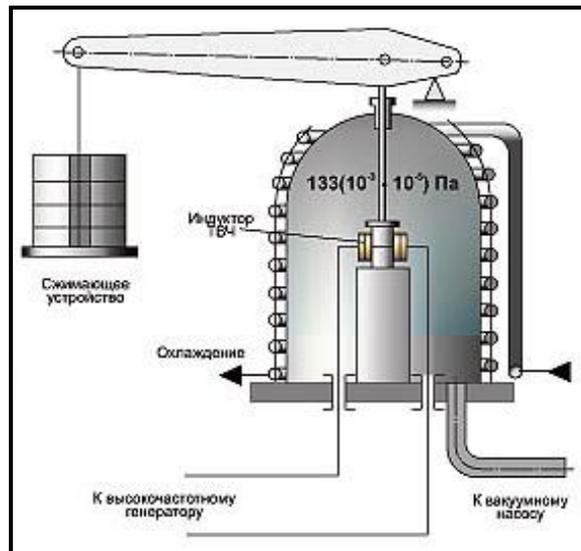


Рис. 5.10

Свариваемые детали тщательно зачищают, сжимают, нагревают в вакууме специальным источником тепла до температуры рекристаллизации ( $0,4 T_{пл}$ ), 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.

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.

**Сварка трением** – способ сварки давлением при воздействии теплоты, возникающей при трении свариваемых поверхностей (рис. 5.11).

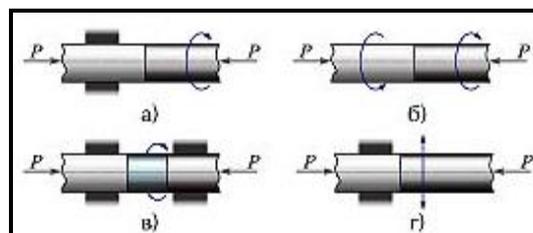


Рис. 5.11

Свариваемые заготовки устанавливают соосно в зажимах машины, один из которых неподвижен (рис. 5.11, а), а другой может совершать вращательное и

## Технология конструкционных материалов

поступательное движения или оба зажима подвижны (рис. 5.11, б). Заготовки сжимаются осевым усилием, и включается механизм вращения. При достижении температуры 980...1300 °С вращение заготовок прекращают при продолжении сжатия.

Иногда сварку трением производят через промежуточный вращаемый элемент (рис. 5.11, в) или заменяют вращательное движение вибрацией (рис. 5.11, г).

Сваркой трением можно сваривать заготовки диаметром 0,75...140 мм.

Преимущества способа: простота, высокая производительность, малая энергоемкость, стабильность качества соединения, возможность сварки заготовок из разнородных материалов.

Осуществляется сварка на специальных машинах.

При **сварке взрывом** большинство технологических схем основано на использовании направленного взрыва.

Соединяемые поверхности заготовок, одна из которых неподвижна и служит основанием, располагают под углом друг к другу на определенном расстоянии. На вторую заготовку укладывают взрывчатое вещество и устанавливают детонатор. Сварку осуществляют на жесткой опоре. При соударении двух деталей под действием ударной волны, движущихся с большой скоростью, между ними образуется кумулятивная струя, которая разрушает и уносит оксидные поверхностные пленки и другие загрязнения. Поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил, и происходит схватывание по всей площади соединения. Продолжительность сварки несколько микросекунд.

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.

## Пайка металлов

**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

## Технология конструкционных материалов

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, плакиновый 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 безфлюсовой 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 рентгенографии.

Технология конструкционных материалов

Вопросы для самоконтроля

1. Какой технологический процесс называют сваркой?
2. На каких физических принципах основан процесс сварки?
3. Что называется свариваемостью материалов?
4. На какие классы делится сварка по виду используемой энергии?
5. Какие виды дуговой сварки используются в технике?
6. Как производится электрошлаковая плавка?
7. Какие припои считаются мягкими и какие твердыми?
8. Какие виды сварки проводятся автоматизированными методами?

## Список использованной литературы

1. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебник для студ. машиностроит. спец. вузов / А. М. Дальский [и др.] ; под ред. А.М. Дальского. – 5-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2004.
2. Чумаченко Ю.Т. Материаловедение для автомехаников [Текст]: учеб. пособие для нач. проф. образования / Ю. Т. Чумаченко, Г. В. Чумаченко, А. И. Герасименко. – 5-е изд., перераб. и доп. – Ростов-н/Д: Феникс, 2008.
3. Чумаченко Ю.Т. Материаловедение [Текст]: учебник для студ. техн. колледжей и проф. лицеев / Ю. Т. Чумаченко, Г. В. Чумаченко. – 6-е изд. – Ростов-н/Д: Феникс, 2008.
4. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст]: учеб. пособие для вузов / под ред. В. С. Чередниченко. – 6-е изд., стер. – М.: Омега-Л, 2010.