

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
“Чувашский государственный университет имени И.Н. Улья-
нова”

И.Е. Илларионов, Э.Л. Львова, И.А. Стрельников,
Г.А. Кравченко

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Чебоксары 2020

УДК 621.74.

ББК 34.61.

И44

Рецензенты:

И.В. Фадеев – канд. техн. наук, доцент (зав. кафедрой машиноведения ФГБОУ ВО “Чувашский государственный педагогический университет им И.Я. Яковлева”);

В.А. Мишин – канд. техн. наук, доцент (кафедра транспортно-технологических машин ЧПИ (ф) ФГБОУ ВО “Московский политехнический университет”)

Илларионов И.Е

И44 Технология конструкционных материалов: учеб. Пособие / И.Е. Илларионов, Э.Л. Львова, И.А. Стрельников, Г.А. Кравченко. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020. – 212 с.

ISBN

Приведены основные технологии получения различных металлов и сплавов, основы литейного производства, технология обработки металлов давлением, сварочное производство, рассмотрены методы механической и электрофизико- химической обработки заготовок , проблемы использования и экономиче-ский выбор материалов

Для студентов очной и заочной форм обучения по укрупненной группе специальностей и направлений УГСН 22.00.00 “Технологии материалов”

Ответственный редактор д-р техн. наук,
профессор И.Е. Илларионов

Утверждено Учебно-методическим советом университета

ISBN

УДК 621.74

ББК 34.61

© Издательство Чувашского
университета, 2020

© И.Е. Илларионов, Э.Л. Львова, И.А.,Стрельников, Г.А. Кравченко
,2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	
1. Технологии получения металлов	8
1.1. Закономерности кристаллизации и затвердевание отливки в литейной форме	9
1.2. Производство чугуна	11
1.3. Производство стали	17
1.4. Производство цветных металлов	27
Тестовые задания	28
2. Литейное производство	31
2.1. Литье в песчаные формы	31
2.2. Специальные способы литья	59
2.3. Производство отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов	82
2.4. Техничко-экономические показатели литейного производства	92
Тестовые задания	94
3. Обработка металлов давлением	99
3.1. Основные способы обработки металлов давлением	99
3.2. Прокатное производство: виды прокатки, продукция	104
3.3. Волочение: продукция, схема процесса, оборудование и инструмент	111
3.4. Прессование: схемы процесса, продукция, инструмент	113
3.5. Ковка и штамповка	116
Тестовые задания	127
4. Сварочное производство	130
4.1. Классификация способов сварки	130
4.2. Источники тепловой энергии и сварочного тока, применяющиеся при сварке	140
4.3. Материалы для сварки сталей, чугуна и цветных металлов	159
4.4. Резка и наплавка. Пайка металлов	162
Тестовые задания	169

5. Механическая обработка заготовок. Электрофизико-химические обработки	172
5.1. Способы обработки резанием. Режущие инструменты	172
5.2. Металлорежущее оборудование	189
5.3. Электрофизико-химические и нетрадиционные методы обработки	194
Тестовые задания	201
6. Проблемы использования и экономический выбор материалов	204
Тестовые задания	210
Список использованных источников	211

ПРЕДИСЛОВИЕ

В практической деятельности специалисту приходится работать с электротехническими и конструкционными материалами, применять различные технологии их обработки.

Группу конструкционных материалов представляют металлы, сплавы и неметаллические материалы. Они находят применение в промышленности, строительстве, на транспорте и обладают широким спектром механических, электрических и других физико-химических свойств. Основным потребителем металлов и сплавов является машиностроение, широко используют в электротехнике, производстве различных по назначению и конструкции установок и аппаратов.

Разнообразие свойств материалов является главным фактором, предопределяющим их широкое применение в технике.

Для изготовления отдельных деталей и изделий используют различные способы обработки металлов и других материалов.

Производственный процесс создания машин, отдельных деталей и изделий состоит из различных видов производств, имеющих свои технологии работ. Поэтому целесообразно изучать используемые в машиностроении технологии по их применению.

Высокие требования к качеству продукции, эффективности производства, снижению его энерго- и материалоемкости, охране окружающей среды определяют специфику технологических процессов обработки материалов литьём, давлением, сваркой, резанием и др.

В учебном пособии, состоящем из 6 глав, рассматриваются современные методы производства и основы технологии обработки конструкционных материалов для получения заготовок и деталей высокого качества.

При изучении дисциплины решаются задачи ознакомления с основами технологии обработки конструкционных материалов литьём, давлением, сваркой и механической обработкой, технологическими процессами, используемыми в металлургии и машиностроении.

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

1.1. Закономерности кристаллизации и затвердевание отливки в литейной форме

В основе металлургических и литейных процессов, использующих изменение агрегатного состояния материала (переход металлов и сплавов из твердого состояния в жидкое путем нагрева, или, наоборот – из жидкого в твердое путем охлаждения), лежат закономерности теплообмена.

На рис. 1.1 представлены результаты расчета зависимости толщины затвердевшей стенки от времени [6].

Закономерности изменения плотности теплового потока и скорости кристаллизации определяют структуру слитка (или отливки), образующуюся при разливке металла в изложницы (или литейные формы).

Поскольку в начальный момент времени у самой поверхности изложницы вследствие интенсивного теплоотвода в изложницу возникает переохлаждение сплава, образуется большое число центров кристаллизации, причем кристаллизация протекает с такой высокой скоростью, что зерна металла затвердевают, не успев приобрести выраженную ориентацию в направлении тепловых потоков.

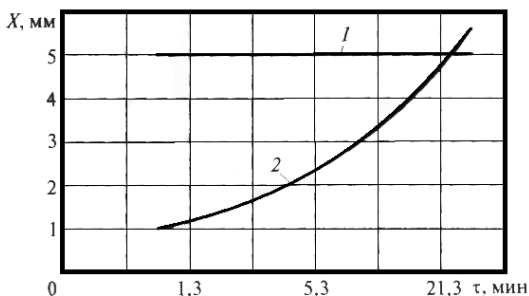


Рис. 1.1. Зависимость толщины X затвердевшей стенки от времени τ : 1 – необходимая толщина стенки; 2 — толщина затвердевшей стенки

Структура слитка состоит из трех зон: наружной мелкозернистой зоны *I*, состоящей из дезориентированных мелких зерен, зоны столбчатых кристаллов *II* и зоны равноосных кристаллов *III* (рис. 1.2). Наружную зону называют литейной коркой. Зона *III* имеет наиболее высокие механические характеристики, однако в ней же может быть сосредоточено наибольшее число примесей, загрязняющих сплав.

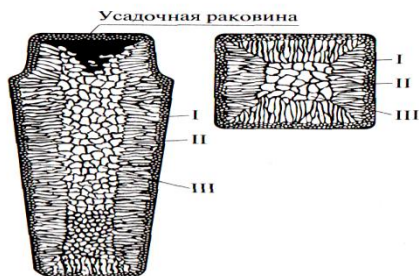


Рис. 1.2. Строение стального слитка

С течением времени τ плотность тепловых потоков и, следовательно, скорость кристаллизации резко уменьшаются, хотя и остаются все еще достаточно большими, чтобы влиять на процесс кристаллизации. Из-за уменьшения степени переохлаждения снижается и число центров кристаллизации. Поскольку тепловые потоки направлены по нормали к изотермическим поверхностям, а те, в свою очередь, практически эквидистантны поверхности изложницы (или литейной формы), наблюдается рост кристаллов из небольшого числа центров кристаллизации в направлениях, перпендикулярных поверхности изложницы. Такие кристаллы, вытянутые в направлениях тепловых потоков, называют *столбчатыми*. В зоне столбчатых кристаллов *II* наблюдается меньше вредных примесей, раковин и газовых пузырей, плотность металла и механические характеристики, достаточно высокие.

При небольшой толщине слитка (или стенок отливки) различные зоны столбчатых кристаллов, растущих от различных стенок внутрь изложницы (или литейной формы), входят в соприкосновение друг с другом. Однако в местах стыка столбчатых кристаллов прочность металла снижается.

В центре слитка при температуре, близкой к температуре плавления, в течение наибольшего времени сохраняются условия, близкие к изотермическим и адиабатическим, т.е. температура благоприятна для начала кристаллизации, но переохлаждение минимально, теплоотвода из этой области практически нет, поэтому число центров кристаллизации еще уменьшается. Из небольшого числа таких центров вырастают крупные равноосные дезориентированные кристаллы. В зоне равноосных кристаллов механические характеристики снижаются.

1.2. Производство чугуна

Важная роль чугуна в металлургии и вообще в экономике страны определяется тем, что он является первичным продуктом переработки железных руд путем их плавки в доменных печах. Свыше 80% чугуна, выплавляемого в доменных печах, в дальнейшем перерабатывается в сталь. Эти чугуны называются *передельными*.

Чугуны, предназначенные для получения фасонного литья в машиностроительном производстве, называют *литейными*. Введение в расплав модификаторов и легирование способствует улучшению механических свойств и структуры сплава.

Технология производства чугуна состоит из подготовки руд к плавке и доменного процесса [2, 3, 6, 10, 12].

Исходными материалами для осуществления доменного процесса являются железная руда, флюсы, топливо и воздух. Железная руда состоит из железосодержащих минералов и пустой породы, в ее состав входят оксиды кремния SiO_2 (кремнезем), алюминия Al_2O_3 (глинозем), кальция CaO , магния (MgO).

По типу рудного минерала железные руды делятся на виды: красный железняк Fe_2O_3 (гематит), магнитный железняк Fe_3O_4 (магнетит), бурый железняк $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ (водные оксиды железа). Железистые кварциты (магнетит или гематит), шпатовый железняк FeCO_3 (сидерит), титаномagnetиты $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ (ильменит).

В необходимой пропорции железные руды, марганцевые, хромовые и комплексные руды, топливо и флюсы образуют *шихту*.

Для повышения производительности доменной печи, экономии кокса, улучшения качества чугуна железные руды предварительно дробят, сортируют для получения кусков требуемой величины и обогащают, отделяя и устраняя пустую породу. Для удаления вредных примесей и улучшения металлургических свойств шихту, состоящую из железной руды и флюса, спекают на агломерационных машинах при температуре 1300-1500 °С, подвергают окатыванию и обжигу при температуре 1200-1350 °С. Результатом такой обработки являются прочные, пористые окатыши диаметром до 30 мм.

Флюсы — это материалы преимущественно минерального происхождения, вводимые в шихту для образования шлака и для регулирования его состава, в частности для связывания пустой породы, продуктов раскисления металла, а также уменьшения процентного содержания вредных примесей. По химическому составу флюсы подразделяют на основные (известняк CaCO_3 и доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$), кислые (кремнезем SiO_2) и нейтральные (глинозем).

Основное топливо – *кокс*. Используют также природный газ или пылевидный каменный уголь, которые получают вместе с воздухом, необходимым для горения топлива. Для доменного производства используют куски кокса размером 25-200 мм и пористостью – 50 %. Содержание углерода в коксе — 96-98 %. Низшая теплота сгорания кокса — 29 МДж/кг.

Шлаком называют расплав, покрывающий поверхность жидкого металла, который после затвердевания представляет собой камневидное или стекловидное вещество. Шлак является побочным продуктом доменного процесса и ценным сырьем для производства строительных материалов (цемента, шлаковой пемзы и пр.).

Доменная печь (рис. 1.3) — шахтная печь для выплавки чугуна из железной руды при высоких температурах в результате восстановительных процессов. Она устанавливается на бетонном фундаменте, имеет стальной кожух, выложенный внутри огнеупорным кирпичом.

Кладка печи выполнена из нейтральных (не реагирующих химически на расплав чугуна) огнеупорных материалов, состоящих в основном из шамотного кирпича и графитизированных (углеродистых) блоков. С увеличением полезного объема печи экономичность ее повышается, поэтому объем печи составляет в основном 2000-5000 м³.

В верхней части печи, называемой *колошником*, находится засыпной аппарат, предназначенный для загрузки шихты. *Под* (дно) доменной печи расположен над бетонным фундаментом и называется *лещадь*. Поскольку на лещади скапливается расплавленный чугун, ее выкладывают углеродистым кирпичом и блоками, содержащими до 92 % углерода в виде графита и обладающими высокой огнеупорностью.

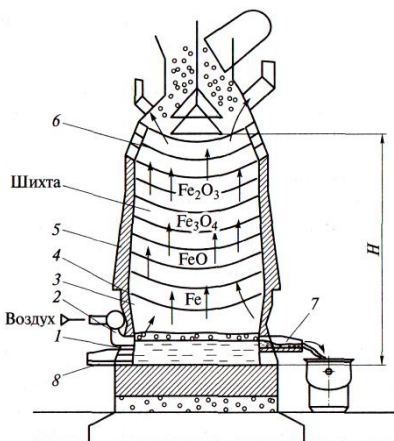


Рис. 1.3. Схема доменной печи: 1 - горн, 2 - фурма, 3 - заплечики, 4 - распар, 5 - шахта, 6 - колошник, 7 и 8 - шлаковая и чугунная летка соответственно, H - высота

В нижней части печи — *горне* — имеются отверстия для выпуска расплавленного чугуна (*чугунная летка*) и шлака (*шлаковая летка*). Чугун выпускают из печи через каждые 3-4 ч, а шлак — через 1-1,5 ч и сливают в чугуновозные ковши и шлаковозные чаши. Чугунную летку открывают бурильной машиной. После каждого выпуска чугунную летку заделывают огне-

упорной массой, а шлаковую летку обычно закрывают металлической пробкой.

В верхней части горна находятся устройства — *фурмы*, через которые в печь поступает воздух, необходимый для горения топлива. Вблизи фурм кокс, взаимодействуя с кислородом нагретого воздуха, сгорает, образуя газовый поток, содержащий угарный газ (оксид углерода) CO, углекислый газ (диоксид углерода) CO₂, азот N₂, метан CH₄ и др. Следует иметь в виду, что некоторые из образующихся газов — вредные и опасные. Так, например, в производственных помещениях не допускается содержание угарного газа более чем 0,03 мг/л.

Воздух поступает в доменную печь из воздухонагревателей. Подогрев воздуха снижает расход топлива. Внутри воздухонагревателей имеются насадки из огнеупорных кирпичей и камеры сгорания.

В камеру сгорания подают доменный газ, который, сгорая, проходит через насадку и нагревает ее. Затем подача газа прекращается и через нагретую насадку пропускается воздух, который при этом нагревается до 1200 °С. Наличие нескольких воздухонагревателей, работающих попеременно, обеспечивает непрерывную подачу в рабочее пространство печи нагретого воздуха.

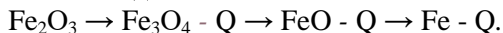
Температура рабочего пространства печи выше зоны подачи воздуха (выше уровня фурм) составляет 2000 °С. Эта часть печи выполняется наиболее широкой и называется *распаром*. Ниже распара расположены заплечики с сужающимся книзу поперечным сечением. Они замедляют опускание шихты. Выше распара поперечное сечение шахты также уменьшается, что способствует свободному опусканию шихты.

Горячие газы, более легкие, чем воздух, поднимаясь, отдают теплоту шихте и нагревают ее. Температура рабочего пространства постепенно снижается у колошника — 300 °С.

В процессе доменной плавки осуществляется встречное движение нисходящего потока сырых материалов (шихты) — железной руды, агломерата или окатышей, флюсов и топлива (кокса), загружаемых в доменную печь сверху, и восходящего потока газов, образующихся в горне печи. Шихта под действием своей массы опускается, постепенно нагреваясь. В результате

взаимодействия этих потоков содержащиеся в руде оксиды железа восстанавливаются при помощи углерода кокса и оксида углерода (образующегося в зоне фурм при горении кокса), которые «отнимают» у оксидов кислород.

При температуре приблизительно 570 °С и выше происходит восстановление оксидов железа:

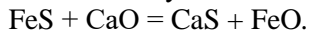


Реакции восстановления железа из оксидов являются *эндотермическими*, т. е. проходят с поглощением теплоты. Это вызывает необходимость сжигания большого количества топлива.

При температуре 1000-1100 °С восстановленное железо взаимодействует с углеродом кокса и оксидом углерода. Полученное железо, взаимодействуя с коксом, науглероживается, образуя чугуны, стекающий в жидком виде в горн доменной печи.

Образуемый железоуглеродистый сплав имеет более низкую температуру плавления (согласно диаграмме железо — цементит 1147... 1500 °С), благодаря чему на уровне распара и заплечиков он расплавляется.

Оксиды марганца, содержащиеся в руде, восстанавливаются до MnO, который, взаимодействуя с углеродом кокса, образует карбид Mn₃C или входит в состав шлака. Карбид Mn₃C растворяется в железе, повышая содержание марганца и углерода в чугуне. Кремний, содержащийся в виде SiO₂, также частично переходит в шлак, а частично восстанавливается углеродом и растворяется в железе, повышая содержание кремния в чугуне. Фосфор, восстанавливающийся при температуре 1300 °С, а также фосфид железа Fe₃P растворяются в железе, увеличивая содержание этой вредной примеси. Аналогично растворяется в чугуне FeS. Часть серы в виде CaS удаляется в шлак:



Расплавленная пустая порода руды, зола кокса и флюсы образуют шлак, всплывающий над слоем чугуна вследствие разницы их плотностей. Чугун и шлак из доменной печи выпускают раздельно через соответствующие отверстия (летки).

Для усовершенствования доменного процесса применяют: обогащение воздушного дутья газообразным кислородом в целях интенсификации процесса;

вдувание газообразного топлива (природного газа), жидкого или пылеугольного топлива в целях экономии кокса;

повышение давления газа под колошником для лучшего распределения газового потока и уменьшения выноса пыли.

Продуктами доменного передела являются передельные (содержащие 3,6-4,5 % С и 0,5-1,3 % Si) и литейные (с большим содержания кремния 0,8-3,6 %) чугуны; ферросплавы (ферро-марганец с 75...85 % Mn и ферросилиций с 19-92 % Si); доменный шлак и колошниковый газ.

Доменный шлак применяется, например, для получения шлакоблоков, цемента, шлаковаты.

Колошниковый газ, выделяемый с помощью газоотводов в больших количествах (за сутки 15-17 млн.м³ с одной печи объемом 3000 м³), после очистки от колошниковой пыли может использоваться в качестве топлива в мартеновских печах, рекуператорах (для нагрева воздуха, поступающего в доменную печь), нагревательных печах прокатных цехов и т.п.

Доменная печь имеет следующие характеристики. Объем, занимаемый шихтой от лещади до нижней кромки засыпного аппарата, называется *полезным объемом*. Полезная высота рабочего пространства печи может быть примерно 35 м, а диаметр — примерно 15 м. Таким образом, полезный объем крупной доменной печи $V = 5000 \text{ м}^3$.

Производительность такой печи $P = 11000 \text{ т/сут}$.

Отношение полезного объема домны к суточной производительности называют коэффициентом использования полезного объема (КИПО). В рассмотренном примере КИПО равен 0,45. На передовых заводах его величина находится в пределах 0,5...0,6.

Другая важная характеристика — *удельный расход кокса K*, равный отношению расхода кокса A к количеству выплавленного за то же время чугуна. Для доменных печей $K = 0,5...0,7$. Так, при $K = 0,6$ и $P = 11000 \text{ т/сут}$ потребуется $A = K \cdot P = 6600 \text{ т}$ кокса в сутки.

В связи с большими затратами на топливо представляет интерес анализ баланса теплоты, выделяющейся в рабочем пространстве домны при сжигании кокса.

Как уже было рассмотрено, непосредственно на нагрев и плавление чугуна расходуется примерно 7,4 % теплоты, выделенной при сгорании топлива.

Возможно, что более существенными статьями теплового баланса являются энергия, поглощаемая при эндотермических реакциях восстановления железа, а также теплота, уходящая в окружающее пространство с нагретыми газами через трубы домы. Однако даже при самых грубых допущениях, касающихся этих затрат, тепловой коэффициент полезного действия домы остается весьма низким (по некоторым данным он не превышает 15 %). Поэтому энергосберегающие мероприятия имеют большое значение для совершенствования доменного процесса.

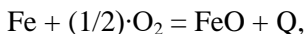
В связи с дефицитностью кокса, повышением капиталоемкости доменных печей, необходимостью уменьшения количества вредных выбросов в атмосферу имеется потребность в замене доменного производства *бескоксовой* металлургией, по которой работает, например, Оскольский электрометаллургический комбинат. Восстановление железа из окислов руды производится в шахтных печах восстановительным газом, полученным обработкой природного газа паром и содержащим CO и H₂. Продукцией являются металлизированные материалы, подразделяемые на шихту для доменного (70-80 % Fe) или сталеплавильного (90-98 % Fe) производств и продукт для производства железного порошка (99 % Fe).

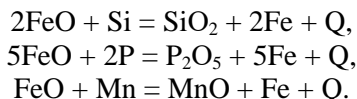
1.3. Производство стали

Сталь по химическому составу отличается от чугуна меньшим содержанием углерода, серы и фосфора, заданным количеством содержания кремния, марганца и др. элементов.

Суть передела чугуна в сталь состоит в снижении содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода их в шлак.

Окисление железа, кремния, фосфора и марганца в сталеплавильной печи происходит с выделением теплоты (экзотермические реакции)





Экзотермические реакции (с выделением теплоты) протекают при более низких температурах, чем термические (реакции с поглощением теплоты). Поэтому окисление кремния, фосфора и марганца происходит в начале плавки.

Только восстановление железа из оксида железа с помощью углерода происходит с поглощением теплоты, причем это происходит при более высокой температуре в середине и конце плавки: $\text{FeO} + \text{C} = \text{CO} + \text{Fe} + \text{Q}$.

После расплавления шихты образуются две несмешивающиеся среды, имеющие различные плотности: металл и шлак.

Примеси (Mn, Si, P, S), а также их соединения, растворимые в металле и шлаке, будут распределяться в металле и шлаке в определенном для данной температуры соотношении. Поэтому, изменяя состав шлака, можно добиться удаления примесей из металла в шлак. С этой целью шлак чаще сливают, наводя новый путем подачи флюса требуемого состава.

Соединения примесей, нерастворимые в металле и шлаке, в зависимости от их плотности переходят либо в металл, либо в шлак.

Процесс выплавки стали включает в себя три основных этапа.

Основной задачей *первого этапа* является удаление фосфора — одной из наиболее вредных примесей.

Для этого необходим основной шлак, содержащий CaO. Поэтому для уменьшения содержания фосфора плавку необходимо осуществлять в основной печи.

Оксид кальция при невысоких температурах (в начале плавки) связывает ангидрид P_2O_5 , переводя его в шлак:



Поскольку фосфор окисляется за счет кислорода оксида железа, для ускорения этого процесса в сталеплавильную печь на первом этапе плавки добавляют железную руду и окалину, содержащие много оксидов железа. Шлак по мере накопления в нем фосфора сливают.

Задача *второго этапа* — уменьшение содержания в металле углерода и серы. На этом этапе вводят руду, окалину, или непосредственно вдувают кислород. Образующиеся при этом пузырьки оксида углерода (угарного газа) выделяются из жидкого металла, вызывая эффект «кипения». Кипение не только приводит к уменьшению содержания углерода, но и способствует выравниванию температуры по объему ванны, удалению неметаллических включений, прилипающих к пузырькам CO, а также других газов, что в итоге повышает качество металла.

На этом же этапе сульфид железа растворяется в основном шлаке:

$$\text{FeS} + \text{CaS} = \text{CaS} + \text{FeO}.$$

Образующееся соединение CaS растворяется в шлаке. Шлак, содержащий большое количество серы, удаляется.

Задачей *третьего этапа* является восстановление железа из оксида железа, т.е. раскисление стали.

Кислород, содержащийся в оксиде железа, необходимый для окисления вредных примесей на первых двух этапах плавки, на третьем этапе снижает качество готовой стали, т.е. является вредной примесью.

Сталь раскисляют двумя способами: осаждающим и диффузионным. При осаждающем способе в жидкую сталь вводят растворимые раскислители (ферромарганец, ферросилиций, алюминий), которые отбирают кислород у оксида железа, образуя оксиды MnO, SiO₂, Al₂O₃. Эти оксиды легче стали и поэтому они переходят в шлак. Однако часть их остается в стали, снижая ее свойства.

При диффузионном способе раскислители распыляют по поверхности жидкого шлака. Восстанавливая оксид железа FeO, раскислители уменьшают его содержание в шлаке. При этом восстановленное железо переходит в сталь, а в соответствии с законом распределения оксид железа FeO из стали переходит в шлак.

В зависимости от степени раскисления различают спокойную сталь, полностью раскисленную; кипящую сталь, раскисленную неполностью; полуспокойную, имеющую промежуточную раскисленность между спокойной и кипящей сталью.

Для изменения строения стали, придания ей определенных физико-химических или механических свойств осуществляют

легирование стали, т. е. вводят в ее состав легирующие добавки. В состав легированной стали помимо компонентов, характерных для углеродистой стали, входят легирующие элементы (хром, никель, молибден, вольфрам, ванадий, титан и др.), которые повышают качество стали и придают ей особые свойства.

Легирующие элементы (Ni, Co, Mo, Si), имеющие меньшее сродство к кислороду по сравнению с железом, вводят в печь во время плавки, обычно вместе с шихтой. Легирующие элементы, способные отбирать кислород у оксида железа, вводят вместе с раскислителями в конце плавки, а иногда — непосредственно в ковш при разливке стали.

Масштабы производства стали характеризуют технико-экономический уровень развития государства. Сталь служит материальной основой всех отраслей экономики. Сталь выплавляют в мартеновских печах, конвертерах и электрических печах из переплавленного чугуна и стального лома, ферросплавов; флюсов (CaCO_3 и др.) и окислительных добавок (железная руда); топлива (коксовый или природный газ, мазут). Для получения стали в электропечах используется электрическая энергия.

При получении стали в зависимости от метода удаления избытка различных элементов (углерода, марганца, серы, фосфора и др.) из расплава металлургические процессы могут быть кислыми и основными.

Кислые процессы позволяют окислять Fe, Si, Mn и образовывать кислый шлак с большим содержанием SiO_2 при плавке. При кислых процессах, осуществляемых в кислых футеровках, не удаляется избыток таких вредных примесей, как сера и фосфор.

При проведении *основных процессов* расплав путем введения известняка CaCO_3 (флюса) очищается от вредных примесей (S и P). Флюсы способствуют удалению в шлак фосфата кальция $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 4\text{CaO}$ и сернистого кальция CaS.

Мартеновский способ основан на плавлении чугуна (в жидком состоянии или в чушках) и лома пламенем газообразного (смесь коксового и доменного газов) и жидкого (мазут) топлива с регенерацией печных газов. В состав шихты вводят железную руду, облегчающую процесс выгорания примесей, и известняк, способствующую для связывания примесей и их перевода в шлак.

Вместимость печей находится в пределах 200-900 т. Процесс плавки длится 8-10 ч, сталь выпускается через летку в разливочные ковши. Печи позволяют получать большие объемы стали одинакового состава, но малопроизводительны (для печи вместимостью 900 т средний съем стали в сутки составляет 10 т/м^2), в них в связи с большим угаром элементов и трудностью растворения ферросплавов нельзя получать высоколегированные стали. В связи с этим выплавка стали в мартеновских печах уступает место более производительной и экономичной выплавке в конвертерах.

Конвертер (рис. 1.4) представляет собой сосуд грушевидной или цилиндрической формы, выполненный из стального листа и футерованный основным огнеупорным кирпичом.

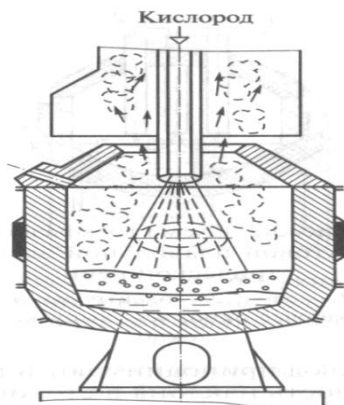


Рис. 1.4. Схема кислородного конвертера

В процессе работы конвертер может поворачиваться на цапфах вокруг горизонтальной оси на 360° для заливки чугуна, завалки скрапа, слива стали и шлака. Для выплавки стали конвертер наклоняют и загружают в него металлический лом (скрап). Количество металлолома не должно превышать 30 % вместимости конвертера. Затем в конвертер заливают жидкий передельный чугун при температуре $1250-1400^\circ\text{C}$. После этого конвертер приводят в вертикальное положение и осуществляют продувку кислородом (или воздухом). При этом происходит окисление железа и примесей и выделяется теплота.

Продувка осуществляется через водоохлаждаемый наконечник трубопровода — фурму под давлением 0,8-1,4 МПа.

Применение кислородного дутья вместо воздушного позволяет получать сталь с низким содержанием азота (0,002 - 0,006 %).

Для наведения шлака используют известь, железную руду, боксит (Al_2O_3), плавиковый шпат CaF_2 (для разжижения шлака).

Поскольку высокое содержание в шлаке FeO (7-20 %) затрудняет удаление серы, в качестве исходного материала применяют чугуны с содержанием серы не более 0,07 %.

Плавка в конвертерах вместимостью 130-300 т заканчивается через 25-50 мин, причем расходы на топливо резко снижаются.

Конвертерный процесс наиболее часто применяется в сталеплавильных цехах металлургических комбинатов для переделки чугуна и стали путем продувки его в конвертере газами, содержащими кислород, либо технически чистым кислородом. При этом в результате окисления железа и примесей выделяется теплота в количестве, достаточном для сохранения металла в расплавленном состоянии в течение всего процесса без подвода теплоты из каких-либо других источников.

Кислородно-конвертерный способ характеризуется большой вместимостью конвертера (300-350) т, высокой производительностью (до 3 млн. т стали с одного конвертера в год), хорошо регулируется, позволяет использовать различные по химическому составу чугуны и лом. Получаемая сталь имеет пониженное содержание фосфора, серы и азота.

Недостатком конвертерного производства являются: обязательная привязка к доменному цеху (невозможность работы конвертера на металлоломе, без жидкого чугуна), трудности с обеспечением стабильного состава стали от плавки к плавке, повышенные потери на угар.

Электрические печи используют для выплавки конструкционных, высоколегированных, инструментальных, специальных сталей и сплавов. В них можно получать высокую температуру, создавать окислительную, восстановительную или нейтральную атмосферу и вакуум, раскислять металл с образованием минимального количества неметаллических включений — продуктов раскисления. Электросталеплавильный процесс является более

совершенным по сравнению с мартеновским и конверторным способами, так как позволяет изменением электрических параметров регулировать тепловые режимы.

В металлургии нашли применение дуговые и индукционные электрические печи, печи электрошлакового переплава, а также электронно-лучевые и плазменно-дуговые печи.

Дуговая плавильная электрическая печь (рис. 1.5) имеет три автоматически перемещающихся графитовых электрода 2, расположенных равномерно вокруг вертикальной оси печи и поддерживающих заданную длину дуги в каждой из фаз.

Питание на электроды подается от трехфазного трансформатора переменного тока. Между электродами и металлической шихтой зажигают электрические дуги (рабочее напряжение 160...600 В, сила тока 1...10 кА).

Плавильное пространство печи ограничено стенками, подиной и сводом 1, футерованными огнеупорным кирпичом. Для загрузки печей малой вместимости используют рабочее окно 3. Печи большой вместимости загружают сверху, для чего свод приподнимают и поворачивают в сторону. Печь имеет возможность наклона в сторону загрузочного окна или летки.

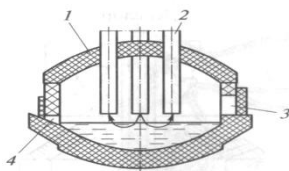


Рис.1.5. Схема дуговой сталеплавильной печи (ДСП):

1 – свод, 2 – электроды, 3 – рабочее окно, 4 - выпускное окно

В металлургических цехах используют электрические печи с основной футеровкой, в литейных — с кислой футеровкой.

В основной дуговой печи можно осуществлять плавку методом переплава (на шихте из легированных отходов) или с окислением примесей (на углеродистой шихте).

При плавке методом дугового переплава шихта должна иметь меньше Mn, Si, P, чем в выплавляемой стали. После расплавления шихты наводят основной шлак для удаления серы, регулируют содержание углерода, а затем проводят диффузионное раскисление.

Плавку на углеродистой шихте применяют для производства конструкционных сталей. В печь загружают стальной лом (до 90 % ее вместимости), чушковый передельный чугун (до 10 %), электродный бой или кокс для науглероживания металла и известь (2 - 3 %). Сущность процесса выплавки стали рассмотрена ранее.

Для определения химического состава металла берут пробы и при необходимости в печь вводят ферросплавы. После этого сталь раскисляют и выпускают в ковш.

Сталеразливочные ковши имеют стальной сварной кожух. Внутри ковш футерован шамотным кирпичом. В днище ковша вставлен стакан из шамота или магнезита с отверстием для разливки стали по изложницам. Отверстие стакана закрывается пробкой из огнеупорного материала, которая навинчивается на стальной стержень стопора, футерованного шамотными трубками. Стопор при разливке поднимается и опускается при помощи рычажного механизма. В ковш сливают всю плавку стали или выпускают большие по массе плавки в 2-3 ковша.

При выплавке легированной стали в дуговых печах в сталь вводят легирующие элементы.

В дуговых печах вследствие отсутствия окислительного пламени можно создать нейтральную или восстановительную атмосферу и хорошо раскислить сталь. Эти печи позволяют создать высокоизвестковые шлаки для более полного удаления серы и фосфора. Возможность хорошо управлять плавкой позволяет точно выдержать состав стали. Дуговые печи применяют для выплавки высококачественных сталей. Удельный расход электроэнергии уменьшается с ростом емкости печи и для 100 – тонной печи составляет 575 кВт·ч/т; расход электродов составляет 6 - 9 кг/т стали.

В *индукционной тигельной плавильной печи* металл помещают в металлический сосуд (тигель), футерованный огнеупорным материалом, и подвергают воздействию переменного электромагнитного поля, в результате чего в нем индуктируются вихревые токи, нагревающие металл.

Переменное магнитное поле создается индуктором, через который от генератора высокой частоты проходит однофазный

ток частотой 500 - 2000 Гц. Вместимость индукционных тигельных печей - от 60 кг до 25 т.

Индукционные тигельные плавильные печи позволяют получать очень чистые металлы с минимальным содержанием примесей, характеризуются высокой скоростью нагрева, легкостью регулирования температуры, незначительным угаром металла, возможностью плавки в защитной газовой среде или в вакууме.

При *вакуумной индукционной плавке* индуктор с тиглем 4, шлюзовой дозатор 1 шихты и изложницы помещают в вакуумную камеру 5 (рис. 1.6).

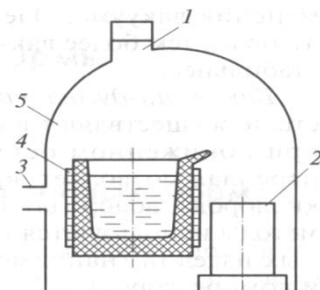


Рис. 1.6. Схема индукционной вакуумной печи: 1 - шлюзовой дозатор, 2 - литейная форма, 3 - патрубок к вакуумному насосу, 4 - индукционная тигельная печь, 5 - вакуумная камера

Плавка, введение легирующих добавок, раскислителей, разливка металла в изложницы производится без нарушения вакуума в камере, благодаря чему получают сплавы высокого качества с малым содержанием газов, неметаллических включений, легированные любыми элементами.

Для повышения качества металла используют обработку синтетическим шлаком, вакуумную дегазацию, электрошлаковый переплав, вакуумно-дуговой переплав, вакуумно-индукционный переплав, переплав в электроннолучевых и плазменных печах.

Обработка синтетическим шлаком, состоящим из CaO (55 %), Al₂O₃ (40 %) и небольшого количества SiO₂, MgO, FeO, заключается в том, что выплавленный в электрической печи шлак заливают в ковш непосредственно перед заливкой стали.

Благодаря перемешиванию стали и шлака реакции между ними протекают быстрее, чем в плавильной печи. В результате снижается содержание серы, кислорода и неметаллических включений, увеличивается пластичность, вязкость и прочность стали, снижается критическая температура хладноломкости.

При вакуумной дегазации стали ковш с жидкой сталью помещают в герметичную камеру, в которой создается давление 0,27- 0,67 кПа.

При таком разрежении из жидкой стали интенсивно выделяются газы (водород и азот). Всплывающие пузырьки захватывают неметаллические включения.

Электрошлаковый переплав — бездуговой процесс электроплавки сталей (и других сплавов), при котором необходимая для плавки теплота выделяется при прохождении электрического тока через расплавленный электропроводящий шлак. Под действием выделяющейся в шлаке теплоты металл электродов плавится и стекает под шлак, где застывает, образуя слиток. Направленная кристаллизация позволяет получить металл высокой плотности с хорошими свойствами.

Изоляция кристаллизующегося металла от атмосферы слоем шлака позволяет получать сталь высокого качества даже без применения вакуума. Электрошлаковые печи по конструкции проще дуговых, тем более вакуумных, а электрический режим в них гораздо стабильнее.

Вакуумно-дуговой переплав и вакуумно-индукционный переплав стали осуществляют в вакуумных дуговых или индукционных печах при пониженном остаточном давлении 0,1-1 МПа. Вакуумный переплав позволяет эффективно очистить металл от газов (азота, кислорода, водорода), примесей и неметаллических включений. Эти методы используются в производстве сплавов для особо ответственных изделий (например, для изготовления дисков и валов турбин и компрессоров).

Переплав в электронно-лучевых и плазменных печах применяют для выплавки сплавов и сталей особо высокого качества. Здесь металл плавится за счет теплоты, возникающей вследствие бомбардировки металла электронами, разгоняемыми электронными пушками. Разрежение (вакуум), большой перегрев и

быстрое охлаждение металла обуславливают удаление газов и примесей, а следовательно, высокое качество металла.

1.4. Производство цветных металлов

Производство меди. Медь получают из сульфидных руд, которые содержат смесь CuS , Cu_2S , FeS , извлекая пирометрическим и/или гидрометаллургическим способами.

Пирометрический способ основан на плавлении металла за счет сжигания топлива и состоит из обогащения руды, обжига ее, плавки полупродукта (штейна), выплавки из штейна меди. Для повышения содержания меди в концентратах осуществляется обогащение медных руд методом флотации. Плавка штейна осуществляется в пламенных печах, очистку черновой меди от примесей (рафинирование) проводят окислением цинка, олова и пр. или электролитическим способом.

Электролитическое рафинирование основано на анодном растворении чушек меди в растворе медного купороса и серной кислоты. При этом катионы меди из раствора поступают на анод и разряжаются, примеси выпадают в осадок, а медь после переплава и разливки полагается на прокатку. Рафинированную медь переплавляют в слитки массой 80 - 90 кг, прокатывают или протягивают через волочильные доски в изделия требуемого профиля и геометрических размеров.

При изготовлении проволоки слитки путем горячей прокатки превращают в катанку диаметром 8 - 18 мм, затем для удаления с поверхности окислов меди (CuO и Cu_2O) протравливают слабым раствором серной кислоты и далее протягивают в холодном состоянии через фильеры волочильной доски.

При прокатке и волочении в холодном состоянии получают твердотянутую медь (МТ). Получают упрочненную медь. Упрочнение металла путем пластической деформации в холодном состоянии называют *наклепом*. Благодаря наклепу медь приобретает повышенную твердость, упругость, предел прочности на разрыв, но при этом возрастает удельное сопротивление и снижается относительное удлинение и относительное сужение перед разрывом. Такую медь (МТ) используют там, где требуются высокие значения предела прочности на разрыв, твердости и сопро-

тивляемости истиранию, например, для изготовления контактных проводов электрифицированного транспорта, коллекторных пластин электрических машин, шин для распределительных устройств и т.п.

Производство магния. Исходным сырьем в процессе получения магния служат минералы. Содержания магния в них: магнезите – 28,8 %; доломите – 13,2 %; карналлите и бишофите – 8,8 %.

Процесс получения магния состоит из следующих периодов: подготовки сырья, получения из него магния и рафинирования. Магний при этом можно производить электролитическим и термическим способами. Очистку от примесей осуществляют возгонкой или за счет повторного плавления магниевых чушек и специального флюса, позволяющего растворять неметаллические включения черного магния.

Производство алюминия. Алюминий получают путем электролиза расплава, состоящего из 10 % глинозема (Al_2O_3) и 90 % криолита (Na_3AlF_6). В специальной ванне, футерованной внутри углеродистыми блоками, устанавливают медные катодные шины, а роль аноды выполняют вертикально установленные угольные электроды. К аноду подводится постоянный ток силой 40-150 кА и напряжение 4 - 4,5 В. Алюминий, полученный в электролизной ванне, очищается (рафинируется) от примесей кремния, железа, неметаллических включений и газов продувкой хлором. Для полупроводниковой техники алюминий дополнительно очищают методом зонной плавки.

Тестовые задания

1. Назовите основные части доменной печи снизу вверх:
 - а) шахта;
 - б) заплечики;
 - в) горн;
 - г) колошник;
 - д) распар.
2. Назовите место, где скапливаются жидкий чугун в доменной печи:
 - а) колошник;

- б) горн;
- в) распар;
- г) заплечики;
- е) шихта.

3. Процесс переработки чугуна в сталь заканчивается процессом:

- а) раскислением;
- б) окислением;
- в) десульфурацией;
- г) дефосфорацией.

4. В современной металлургии сталь получают в следующих агрегатах:

- а) доменных печах;
- б) конвертерах;
- в) отражательных печах;
- г) мартеновских печах;
- д) электрических печах.

5. При выплавке стали сера и фосфор удаляются в печах:

- а) с кислой футеровкой;
- б) с нейтральной футеровкой.
- в) с основной футеровкой.

6. Установите правильную последовательность этапов переработки чугуна в сталь:

- а) раскисление стали;
- б) расплавление шихты и нагрев ванны;
- в) кипение стали.

7. Выплавка хорошо раскисленных высококачественных углеродистых и легированных сталей осуществляется в:

- а) в электрических печах;
- б) в доменных печах;
- в) в отражательных печах;
- г) в вагранках.

8. Для облицовки (футеровки) рабочего пространства металлургических печей используют материалы:

- а) огнеупорные;
- б) жаростойкие;
- в) коррозионно-стойкие;
- г) высокопрочные.

9. Назовите очередность подготовки к плавке в доменной печи:

- а) окускование;
- б) сортировка;
- в) обогащение;
- г) дробление.

10. Вместимость современных кислородных конвертеров для выплавки стали составляет:

- а) 2...5 т;
- б) 50...70 т;
- в) 130...200 т;
- г) 300...350 т.

11. Важнейшим технико-экономическим показателем работы доменных печей является:

- а) коэффициент использования топлива;
- б) коэффициент использования полезного объема;
- в) удельных расход кокса.

2. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

2.1. Литье в песчаные формы

Задача литейного производства - изготовление изделий любой массы, разнообразных по форме и размерам (в том числе с внутренними полостями) из металлов и сплавов, обладающих жидкотекучестью. Доля литых деталей в большинстве изготавливаемых машин составляет в среднем 40-50%, а по стоимости изготовления их – 10-15% [3, 6, 10, 12].

Литейное производство – это способ получения фасонных заготовок из различных сплавов, заключающийся в заливке расплава в литейную форму, имеющую внутреннюю полость, максимально приближенную по конфигурации и размерам к заданной детали, дальнейшем охлаждении металла в форме, затвердевании образовавшейся отливки и выбивки ее из формы.

Из всех известных способов производства заготовок литейная технология наиболее эффективна, так как позволяет получать изделия непосредственно из расплава с минимальными припусками на обработку резанием и хорошими механическими свойствами.

Во многих случаях литье - единственный возможный способ получения заготовок сложной конфигурации, больших размеров и массы. Эффективность литейного производства объясняется его универсальностью, позволяющей производить сравнительно недорогие отливки из сплавов практически любого состава с высокими механическими и эксплуатационными свойствами, массой от нескольких граммов до сотен тонн.

Отливка имеет большие размеры и массу, чем деталь. Разница заключается в величине припусков и напусков, которые удаляют с отливки во время механической обработки. Модель (при литье в разовые песчаные формы) или рабочая полость металлической формы больше размеров отливки на величину линейной усадки литейного сплава, величина которой составляет 1-1,5 % для чугунов и 1,5-2,5 % для сталей. Конфигурация любой отливки определяется возможностью изготовления технологической оснастки и литейной формы, минимальной толщиной полости, которую может заполнить расплав, и экономической

целесообразностью. Выбор способа литья определяется служебным назначением детали, производственной программой, а также требуемой точностью и качеством поверхности отливки. Литейные детали составляют примерно половину массы машин и механизмов, поэтому литейное производство по праву считается основной заготовительной базой машиностроения.

При литье металлический расплав заливают в заранее подготовленные литейные формы (рис. 2.1). *Литейные формы* — это применяемая в литейном производстве форма для получения отливок, состоит из собственно формы для воспроизведения наружных контуров отливок и литейных стержней для образования внутренних полостей и отверстий (рис.2.1, а).

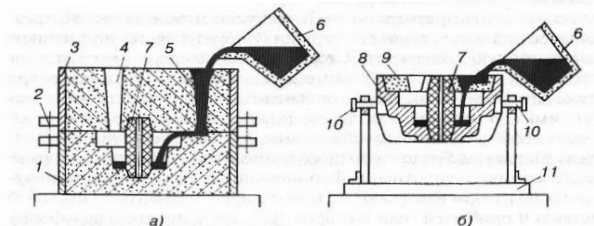


Рис. 2.1. Литейные формы для разового (а) и многократного (б) использования: 1, 3 - нижняя и верхняя полуформы; 2, 10 - цапфы; 4 - выпор; 5 - расплав; 6 - ковш; 7, 9 - стержни; 8 - металлическая форма (кокиль); 11 - основание кокиля

Литейные формы подразделяют на разовые (песчаные объемные и оболочковые) и многократные (долговременные, часто называемые постоянными, рис. 2.1, б). Разовую литейную форму после получения в ней отливки разрушают, а многократная форма используется для изготовления большого количества отливок. Большая часть отливок (~80%) изготавливается в разовых формах - литьем в песчаные формы. В некоторых случаях эти отливки не удовлетворяют предъявляемым требованиям. Поэтому применяют специальные способы литья: в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, в металлические формы (кокили), под давлением, под регулируемым давлением, с кристаллизацией под давлением (штамповкой из жидкого металла), центробежное и др.

Основные операции технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах могут быть объединены в три группы: формовка; плавка металла и заливка его в форму; выбивка и очистка отливок. Процесс формовки включает в себя ряд операций по изготовлению формы (засыпку формовочной смеси в форму, саму формовку, установку стержней, сборку формы и др.). Процесс плавки и заливки состоит из операций по загрузке печи металлом, его плавлению, доводке и заливке в литейную форму. После затвердевания и охлаждения, полученные отливки выбивают из формы, очищают от остатков формовочной и стержневой смеси, отделяют от них литники и прибыли.

Песчаная объемная форма в большинстве случаев состоит из двух полуформ (рис.2.1, а) 3 и 1, которые получают уплотнением формовочной смеси, состоящей главным образом из кварцевого песка и огнеупорной глины, вокруг соответствующих частей (верхней или нижней) деревянной или металлической модели в специальных металлических рамах - опоках.

Опокой называют приспособление в виде жесткой рамы (открытого ящика), служащее для удержания в нем формовочной смеси при изготовлении разовых песчаных форм, транспортирования и заливки металла. Опоки изготавливают из стали, чугуна, алюминиевых сплавов.

Модель отличается от отливки не только размерами, но и наличием знаковых частей, предназначенных для установки стержня 7, образующего внутреннюю полость отливки (отверстия). Стержни изготавливают из смеси, например, кварцевого песка, отдельные зерна которого скрепляются при сушке или химическом твердении специальными крепителями (связующими). В верхней 3 и частично нижней 1 полуформе размещают модели элементов литниковой системы, предназначенной для заполнения расплавом 5 из разливочного ковша 6 рабочей полости формы. После засыпки и уплотнения формовочной смеси в опоках из полученных полуформ извлекают модели отливки, элементы литниковой системы и прибыли (или выпоров 4). Затем в нижнюю полуформу 1 устанавливают стержень 7 и накрывают верхней полуформой 3. Необходимая точность сборки формы обеспечивается штырями и втулками в цапфах 2 (или приливах) опок. В современных литейных цехах многие опера-

ции при изготовлении песчаной формы выполняются на машинах, например уплотнение смеси, извлечение моделей из полуформ, установка стержней, сборка форм и т.п. Перед заливкой во избежание поднятия верхней полуформы заливаемым расплавом опоки скрепляют друг с другом специальными скобами или на верхнюю опоку устанавливают груз. При заливке из полости формы вытесняются воздух и газы через вентиляционные каналы и выпоры 4.

После затвердевания отливки песчано-глинистую форму подают на выбивку, где ее разрушают и извлекают отливку. Затем из отливки удаляют стержень, отрезают от нее элементы литниковой системы и прибыли. Поверхность отливки очищают от пригоревшей формовочной и стержневой смесей и заусенцев. Для снятия внутренних напряжений, получения заданных структуры и механических свойств отливки подвергают термической обработке. После очистки и окраски их отправляют на склад или в механический цех.

Литейная форма многократного использования (кокиль) показана на рис. 2.1, б. Кокиль 8 изготавливается из чугуна, который изнутри (его рабочая поверхность) перед заливкой расплавом окрашивается противопригарной краской. В кокиль устанавливаются песчаные стержни 7 и 9, в которых выполнены элементы литниковой системы (чаша, питатели, выпор). При сборке кокиля в него вначале устанавливают стержень 7, а затем стержень 9. Кокиль расположен на цапфах 10, опирающихся на основание 11. Рабочие полости кокиля перед сборкой очищаются от остатков старой краски и нагреваются до заданной температуры. Расплав заливают ковшом 6 в литниковую чашу, выполненную в стержне 9. После затвердевания отливки кокиль поворачивается на 180°, отливка и стержни выбиваются. Затем отливка поступает в обрубно-очистное отделение литейного цеха.

Кокиль очищается от остатков стержневой смеси и краски и готовится к следующей заливке. Песчаные стержни используются только один раз, на очередную сборку подаются новые стержни. Металлические стержни используются многократно. Выбор способа литья определяется служебным назначением детали, производственной программой, экономической целесооб-

разностью, а также требуемой точностью и качеством поверхности отливок.

Для снятия внутренних напряжений, получения заданных структуры и механических свойств отливки подвергают соответствующей термической обработке.

Литье в песчаные формы является универсальным способом получения различных по массе и габаритам отливок из чугуна, стали, сплавов цветных металлов при различных типах производств. Главное преимущество литья в песчаные формы - простота и дешевизна процесса изготовления отливок.

Недостатки литья в песчаные формы: использование больших производственных площадей; сложность, а иногда и невозможность изготовления мелких и тонкостенных отливок; сложность изготовления отливок с высокими требованиями по точности, в результате чего назначаются большие припуски на механическую обработку; низкая производительность и плохие санитарно-гигиенические условия труда.

Песчаные формы являются разовыми и выдерживают только одну заливку. Они служат для получения одной или одновременно нескольких отливок, после чего форму разрушают.

Весь цикл изготовления отливки состоит из ряда основных и вспомогательных операций, осуществляемых как последовательно, так и параллельно в различных отделениях литейного цеха (рис. 2.2). Только технологическую оснастку изготавливают в модельных и инструментальных цехах.

Для изготовления разовых песчано-глинистых и некоторых других форм и стержней используют смеси, приготовленные из формовочных материалов. Основными исходными формовочными материалами для этих смесей являются кварцевый песок и глина. Вместе с ними используются вспомогательные вещества (связующие и добавки). Кроме исходных материалов, для приготовления формовочных смесей широко используют оборотные (бывшие в употреблении) смеси.

Кварцевый песок состоит из кремнезема SiO_2 , обладающего высокой огнеупорностью (1713 °C), прочностью, твердостью и низкой химической активностью. Иногда вместо кварцевых песков (с целью повышения огнеупорности формовочных смесей) применяют и другие материалы, например хромистый железняк,

хромагнетит, циркон и др. Использование их позволяет получить крупные и массивные отливки с чистой поверхностью (без пригара) и более высокой точностью размеров.

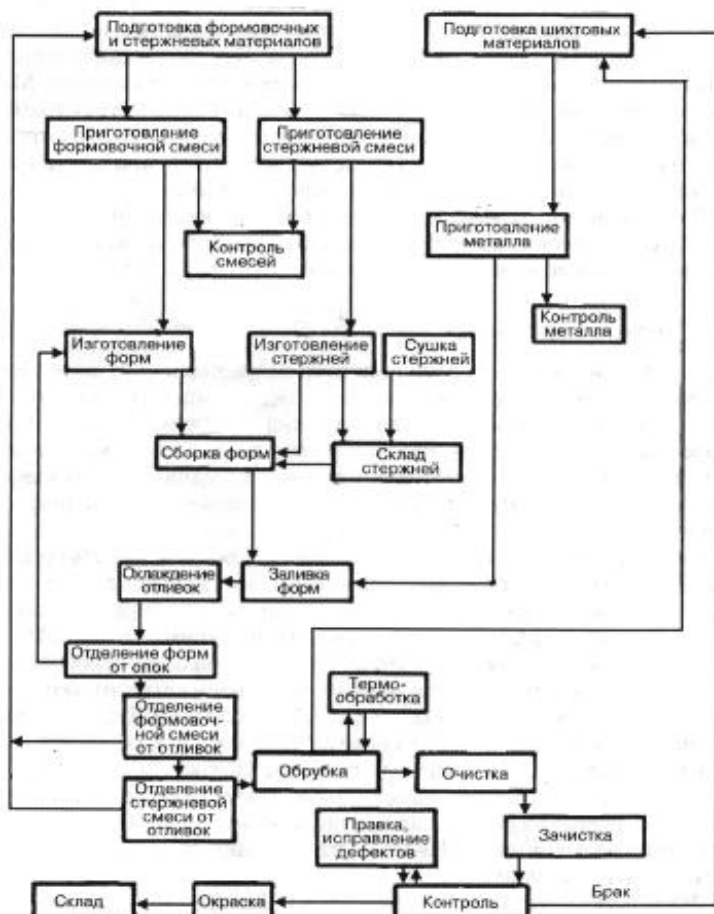


Рис. 2.2. Схема технологического цикла изготовления отливок

Глина, являясь связующим веществом, обеспечивает прочность и пластичность. В большинстве формовочных глин основным материалом является каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Формовочные и стержневые смеси, приготовленные с использованием каолиновых глин, используются для форм, заливаемых как

во влажном, так и сухом состоянии. Кроме каолиновых, используют и бентонитовые глины, но только для формовочных смесей, предназначенных для изготовления форм, заливаемых сырым (сушке такие формы подвергать нельзя).

Формовочные и стержневые смеси, в которых вторым компонентом является глина (при большом содержании, обеспечивающем высокую прочность), имеют плохую податливость и выбиваемость, пониженную газопроницаемость и склонность к пригару

Поэтому для улучшения свойств в них вместо глины вводят вещества, называемые *связующими*, которые должны обеспечить: высокую общую и поверхностную прочность форм и стержней после сушки или другой обработки; хорошие текучесть, газопроницаемость и низкую газотворную способность, податливость и выбиваемость смесей за счет снижения их прочности к моменту начала линейной усадки отливки; отсутствие прилипания к моделям и стержневым ящикам. Эти требования должны выполняться при введении сравнительно небольших количеств связующего (0,5 - 6 %). К ним относятся синтетические смолы, высыхающие масла (например, олифа или льняное масло), жидкое стекло, сульфитно-спиртовая барда и др.

Для улучшения технологических, механических, теплофизических и других свойств в смеси вводят *добавки*: каменноугольную пыль (в смеси для чугунного литья), маршалит (в смеси для стального литья) и т.п.

Из рассмотренных исходных материалов изготавливают формовочные и стержневые смеси. Для разовых форм используют песчано-глинистые, песчано-смоляные и другие формовочные смеси. Разовые формы могут быть сырыми, сухими, подсушенными, химически твердеющими и др. По толщине стенок их делят на толстостенные (20 - 250 мм и более), тонкостенные (10-20 мм) и оболочковые (5-10 мм). К разовым также относят неразъемные формы, получаемые по выплавляемым или выжигаемым моделям.

Качество отливок непосредственно связано со свойствами смесей, важнейшими из которых являются теплофизические (определяющие скорость и последовательность затвердевания и охлаждения формирующейся в литейной форме отливки, обра-

зование в ней напряжений, трещин, пригара, ужимин и др.), механические (прочность, пластичность, осыпаемость, податливость) и технологические свойства (текучесть, выбиваемость), а также свойства, определяющие газообмен (газопроницаемость).

Прочность - способность смеси обеспечивать сохранность формы (стержня) без разрушения при ее изготовлении и использовании. При низкой прочности смеси форма и стержни не выдерживают динамического удара струи заливаемого в форму расплава или статического давления столба расплавленного металла, в результате чего происходит их разрушение, что приводит к появлению брака в отливках, в основном в виде засоров. Различают два способа оценки прочности смесей: на сжатие - в сыром и сухом состояниях; на разрыв - в сухом состоянии. Предел прочности на сжатие составляет 60-160 кПа для сырых смесей. После сушки он повышается на порядок, что связано с упрочнением пленки связующих веществ, обволакивающих песчинки. Прочность смесей зависит от содержания в них влаги, количества и типа связующего вещества, степени их уплотнения, зерновой структуры смеси, качества ее перемешивания и т.д.

Пластичность - способность формовочной смеси четко воспроизводить отпечаток модели (стержневого ящика) и сохранять полученную форму. При хорошей пластичности смесь в процессе уплотнения перемещается не только в направлении приложения силы, но и перпендикулярно ей, что и обеспечивает качественное заполнение «углов» формы. На пластичность также влияет количество влаги и глины в формовочной смеси и ее зерновая структура.

Податливость - способность смеси сокращаться в объеме под действием сжимающих усилий отливки при ее усадке в процессе охлаждения. Низкая податливость приводит к возникновению в отливке напряжений и, как следствие, - трещин. Податливость связана с потерей смесью некоторой прочности при прогреве ее отливкой, что связано с наличием в ней специально вводимых добавок, например древесных опилок;

Газопроницаемость характеризует способность формы (вследствие пористости) пропускать газы, которые вытесняются из нее при заливке жидким металлом, а также выделяются из самой формы и расплава. При низкой газопроницаемости фор-

мы газы, образующиеся при испарении влаги или в результате выгорания связующих материалов, поступают в заливаемый металл и вызывают образование в отливках газовых раковин. Газопроницаемость зависит от влажности смеси, размеров и однородности зерен песка, степени уплотнения смеси и содержания в ней глины.

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

Выбиваемость – способность формовочных и стержневых смесей свободно удаляться из опоки и отливки.

Выбор состава смеси обусловлен ее назначением (табл.2.1) [3, 4, 6, 8, 9].

Таблица 2.1.

Классификация смесей по типу, виду и характеру твердения

Тип смеси	Вид смеси	Категория смеси по характеру твердения форм и стержней	Область применения смеси
Песчано-глинистая	Пластичная	Не подвергается твердению (сушке)	Для форм и стержней (средних и крупных)
		Теплового твердения (подвергается сушке)	
Песчано-жидкостекляная	Пластичная	Воздушного твердения	Для форм и стержней
		Теплового твердения	
		Химического твердения (продувка CO ₂)	
		Самотвердеющая	
	Жидкая	Теплового твердения	
		Самотвердеющая	
Песчано-смоляная	Сыпучая	Теплового твердения	Для оболочковых форм и стержней
		Теплового твердения	
	Пластичная	Самотвердеющая	Для всех стержней
		Теплового твердения	
	Жидкая	Теплового твердения	Для средних стержней
		Самотвердеющая	

При формовке применяют облицовочные (выполняющие рабочую поверхность формы), наполнительные (используемые для заполнения формы) и единые (применяемые для получения тонкостенных отливок) смеси.

Все смеси имеют влажность от 3,5 до 5 %. В состав облицовочных и единых смесей наравне с глиной часто вводят противопригарные добавки. Типовые составы формовочных смесей для литья различных сплавов приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2.

Типовые составы стержневых смесей

Сплавы	Состав смеси, %			Влажность, %	Газопроницаемость	Прочность на сжатие (влажное состояние), МПа
	Песок и глина	Отработанная смесь	Добавки			
Стали	10-20	90-80		4-5	80-120	0,04-0,06
Чугуны	5-15	95-85	0,5-1,5	4-6	30-100	0,03-0,07
Медные	7-10	93-90	1-1,5	4-5,5	30-50	0,03-0,05
Алюминиевые	8-10	92-90	-	4,5-5,5	20-40	0,03-0,05

Примечание. Добавкой в смесях для чугуна является каменный уголь (или графит), а в смесях для медных сплавов – мазут.

К стержневым смесям предъявляют более высокие требования, чем к формовочным, так как во время заливки форм и охлаждения металла стержни со всех сторон окружены расплавом и испытывают большие статические, динамические и тепловые нагрузки. Они должны обладать большой прочностью, газопроницаемостью и огнеупорностью.

Для приготовления смесей необходимо равномерное распределение составляющих смесей по всему объему. Для приготовления песчано-глинистых формовочных смесей используют главным образом смесители (бегуны), в которых рабочими органами являются катки и плужки. Применяют бегуны непрерывного и периодического действия. В бегунах периодического действия смешивание осуществляется порциями (замесами).

Порция материалов загружается в бегуны, перемешивается, а затем выгружается. В смесителях непрерывного действия загрузка, перемешивание и выгрузка ведутся одновременно. Для стержневых смесей схема подготовки исходных материалов проще, т. к. в их состав не входит отработанная смесь. Для их приготовления используют свежий сухой песок и связующее, которые перемешивают в смесителях.

Основными элементами оснастки, используемой при литье в песчано-глинистые формы, являются модель отливки, модели литниково-питающей системы и стержневые ящики.

Модель - приспособление, при помощи которого в литейной форме воспроизводятся наружный контур будущей отливки, каналы элементов литниковой системы и знаки для крепления стержней. Размеры модели отливки изготавливают с учетом линейной усадки сплава.

Стержневой ящик служит для изготовления стержней. Стержни проставляются в форму для образования как внутренних, так и наружных сложных поверхностей отливки. Размеры стержней выполняют также с учетом линейной усадки сплава.

Модели элементов *литниково-питающей системы* предназначены для образования в литейной форме каналов, по которым расплав подводится к рабочей полости формы и питает отливку во время ее затвердевания.

По *материалу* модели подразделяются на деревянные, металлические, гипсовые, цементные, пластмассовые и комбинированные (дерево и металл или пластмасса).

По *конструкции* модели бывают разъемные, неразъемные, с отъемными частями и специальные.

Выше отмечалось, что опоки - это прочные металлические рамы различной конфигурации. Они могут быть цельнолитыми, сварными или сборными из отдельных литых частей. Иногда стальные опоки изготавливают сваркой из стандартного проката. Стенки опок часто делают с отверстиями для снижения их массы, облегчения удаления газов из формы при заливке и улучшения сцепления формовочной смеси с опокой. Для удержания уплотненной смеси в опоке применяют также внутренние ребра. Центрируют опоки с помощью штырей, устанавливаемых в спе-

циальные отверстия. Для скрепления опок применяют скобы и другие приспособления.

Литейную форму заливают расплавом через литниковую систему.

Литниковая система - совокупность связанных между собой каналов и полостей, по которым расплав плавно поступает в рабочее пространство литейной формы. Исключение составляет заливка открытых форм, предназначенных для производства простых, неотчетственных отливок (плиты, грузы и т.п.).

Литниковая система должна обеспечивать непрерывное поступление расплава в форму и питание отливки для компенсации ее усадки, предотвращать разрушение формы, попадание в нее шлака и воздуха со струей расплава.

Основными элементами литниковой системы при производстве отливок в песчано-глинистых и некоторых других формах являются: литниковая чаша (воронка), стояк, шлакоуловитель (литниковый ход) и питатели (рис.2.3).

Литниковая чаша (воронка) является металлоприемником, в который из ковша заливают расплав. Она служит для ослабления динамического напора свободно падающей струи металла, предотвращения его разбрызгивания, задержки шлака от попадания его в стояк и полость формы.

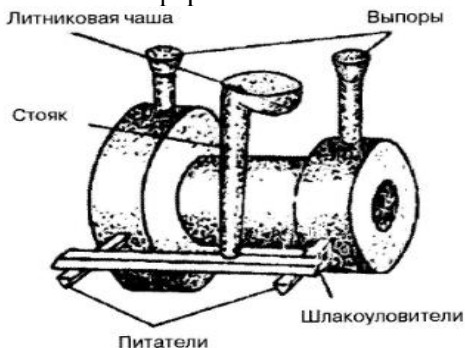


Рис. 2.3. Отливка с литниковой системой

Стояк представляет собой вертикальный канал в виде усеченного конуса с сужением книзу, соединяющий чашу со шла-

коуловителем (при литье чугуна и сплавов цветных металлов) или литниковым ходом (при литье стали).

Шлакоуловитель (или литниковый ход) представляет собой горизонтальный канал трапецеидального сечения, формуемый по модели в верхней опоке в плоскости разъема формы. Он предназначен для задержки шлака и других неметаллических включений и распределения расплава по питателям.

Питатели - щелевидные каналы, примыкающие непосредственно к полости литейной формы и направляющие в нее расплав от шлакоуловителя или стояка. Количество питателей и их расположение зависят от конструкции получаемых отливок.

В верхних частях отливок выполняют *выпоры* - вертикальные каналы с расширением кверху, служащие для вывода из формы воздуха, газов, всплывающих неметаллических включений и наблюдения за наполнением формы.

При производстве отливок из сплавов, имеющих большую объемную усадку, вместо выпоров ставят *прибыли*, назначение которых - питать расплавом отливку во время ее затвердевания и тем самым предотвращать образование усадочных раковин в массивных узлах, затвердевающих в последнюю очередь.

В зависимости от конфигурации и размеров отливки, рода сплава и способа литья на практике применяют литниковые системы различной конструкции, размеры (сечение) каналов которых определяют расчетом по формулам гидравлики, в которые введены обобщенные опытные коэффициенты. Расчет начинают с определения суммарной площади наименьшего поперечного сечения в узком месте литниковой системы. В литниковых системах, применяемых при изготовлении отливок из чугуна, стали и большинства медных сплавов, наименьшим является сечение питателей у входа их в полость формы [2, 9].

Каналы литниковой системы не должны быть длинными, так как при заливке формы расплав остывает, густеет, его текучесть уменьшается, что может привести к браку по недоливу формы.

Скорость заполнения формы расплавом зависит от поперечного сечения питателей, слишком большое сечение которых приводит не только к перерасходу металла, но и к обвалу формы, особенно верхних ее частей, что происходит вследствие

сильных ударов расплава о ее стенки. Кроме того, под действием этих ударов размеры формы могут увеличиться, что, в свою очередь, может привести к искажению размеров отливки.

Прибыли предназначены для предотвращения образования усадочных раковин в отливках. Открытые прибыли прямого питания (рис. 2.4, *а*) применяют для питания крупных стальных отливок, иногда производя доливку в них металла по мере снижения его уровня. Такая прибыль служит также выпором, в нее могут всплывать частицы формовочной смеси и шлака. Во многих случаях применяют закрытые прибыли (рис. 2.4, *б, в*), дающие некоторую экономию металла. Закрытые прибыли экономичнее открытых, применяются при машинной формовке и в случаях, когда верхняя опока очень высокая. С целью улучшения работы закрытой прибыли средних размеров ее соединяют с атмосферой. Отводные (боковые) прибыли (рис. 2.4, *б*) применяют для питания местных термических узлов, а также для питания нескольких мелких отливок. Отводные прибыли питают отливку значительно хуже прямых. Они должны располагаться несколько выше питаемого узла (рис.2.4, *б*), а шейка, соединяющая прибыль с питаемым узлом, должна быть короткой и иметь сечение с наименьшей поверхностью охлаждения. Эти прибыли применяют редко и часто их действие усиливается давлением газа или воздуха.

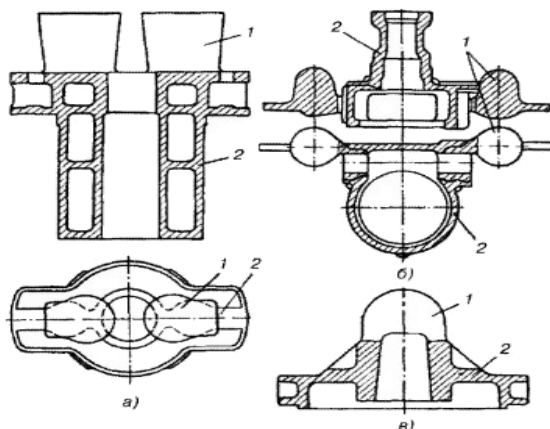


Рис. 2.4. Типы прибылей; *а* - прямые (верхние); *б* - отводные (боковые); *в* - сферические; 1 - прибыль; 2 - отливка

Наиболее сложной и трудоемкой операцией получения отливки является процесс *изготовления формы - формовка*. Изготовление форм, стержней и сборка формы - наиболее ответственные этапы этого процесса.

Формы изготавливают и собирают в формовочных отделениях литейного цеха, стержни - в стержневом отделении, после чего последние подают в формовочное отделение на сборку формы. В зависимости от применяемой модельной оснастки различают формовку по разъемным и неразъемным моделям.

В зависимости от степени механизации различают два вида формовки: ручную и машинную. На машиностроительных заводах *ручную формовку* применяют для получения одной или нескольких отливок, например в условиях опытно-экспериментального производства, при изготовлении уникальных отливок, а также при изготовлении отливок для ремонтных целей. *Машинную формовку* применяют в условиях серийного и массового, реже - единичного производств, а автоматическую - в условиях массового производства.

На рис. 2.5 показаны основные операции, которые выполняет литейщик-формовщик при изготовлении формы по разъемной модели *вручную*. При машинном способе формовки основная последовательность операций сохраняется, только выполняют их не вручную, а машинами и механизмами.

Вначале нижнюю половину модели отливки 1, модели питателей 2 и опоку 4 ставят на подмодельную плиту 3. В опоку насыпают формовочную смесь и равномерно уплотняют трамбовкой 5 до верха опоки (рис. 2.5, а) и счищают линейкой 6 излишки смеси (рис. 2.5, б). Затем полуформу поворачивают на 180°, на нижнюю половику модели отливки устанавливают верхнюю половину модели отливки 7, модели литниковой системы 8 и прибыли 9, поверхность разъема присыпают разделительным сухим песком, по центрирующим штырям 10 устанавливают верхнюю опоку, насыпают в нее смесь и уплотняют (рис. 2.5, в).

После набивки извлекают модели стояка и прибыли (рис. 2.5, г) осторожно снимают верхнюю полуформу, поворачивают ее на 180° и ставят на горизонтальную поверхность (обычно рядом с нижней полуформой). Вынимают модели из нижней и

верхней полуформ (рис. 2.5, *д, е*) с помощью крючка *12*, предварительно слегка смочив кистью *11* кромки формы у моделей. Полость формы очищают от сора - кусочков смеси с помощью гладилки *13*, ланцета *14*, ложечки *15*, крючка *16*, которые составляют инструмент формовщика. Устанавливают сухой песчаный стержень (рис. 2.5, *ж*) в специальные гнезда (знаки) и накрывают нижнюю полуформу верхней (по штырям).

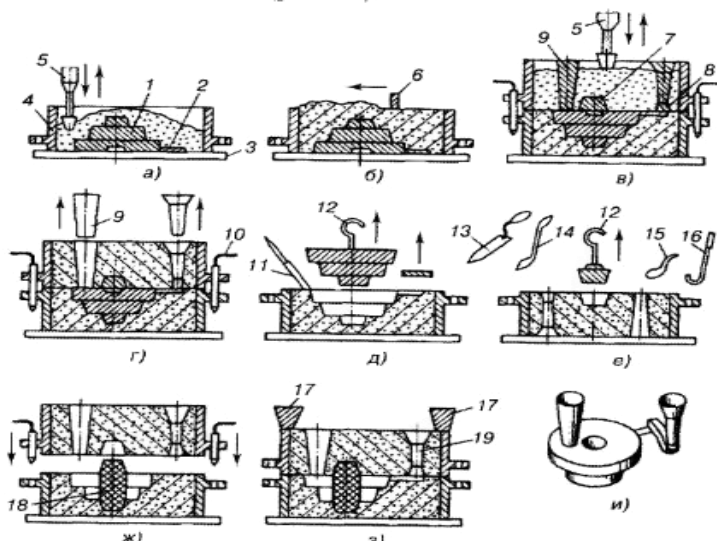


Рис. 2.5. Основные операции при изготовлении песчано-глинистой формы ручной формовкой: *а* - формовка нижней опоки; *б* - срезание излишков смеси; *в* - формовка верхней полуформы; *г* - извлечение моделей стояка и прибыли; *д, е* - извлечение моделей отливки и отделка формы; *ж* - установка стержня и сборка формы; *з* - наложение груза; *и* - отливка с литниково-питающей системой; *1, 7* - нижняя и верхняя половинки модели отливки; *2* - модель питателя; *3* - подмодельная плита; *4* - опока; *5* - трамбовка; *6* - линейка; *8* - модель стояка; *9* - модель прибыли; *10* - штырь; *11* - кисть; *12, 16* - крючок; *13* - гладилка; *14* - ланцет; *15* - ложечка; *17* - груз; *18* - стержень; *19* - литниковая система

Сверху на кромки верхней опоки устанавливают груз *17*, чтобы при заливке расплав не приподнял верхнюю полуформу (рис. 2.5, *з*). Форма готова к заливке. На рис. 2.5, *и* приведена отливка с элементами литниково-питающей системы.

Применение *машинной формовки* во много раз увеличивает производительность труда, улучшает качество форм, а следовательно, и отливок, снижает брак последних, облегчает условия работы формовщика. При машинной формовке наиболее часто применяют следующие способы уплотнения формовочных смесей: прессование, встряхивание, встряхивание с подпрессовкой, пескодувно-прессовый, пескометный, импульсный, импульсно-прессовый и другие способы.

Уплотнение прессованием может осуществляться по различным схемам, выбор которых зависит от размеров и типа модели, требуемой степени и равномерности уплотнения формовочной смеси и других условий.

На машинах с *верхним прессованием* (рис. 2.6, а) уплотняющее давление действует сверху. На столе 1 формовочной машины закрепляют модельную плиту с моделью 2, устанавливают опоку 3 и на нее - наполнительную рамку 4. Опоку и рамку заполняют формовочной смесью из бункера. Затем над опокой и рамкой устанавливают траверсу 5 с закрепленной на ней прессовой колодкой 6 немного меньшего размера, чем внутренние размеры наполнительной рамки. Стол машины поднимается вверх, колодка на неподвижной траверсе входит внутрь наполнительной рамки, вытесняет из нее смесь и впрессовывает в опоку. Нижняя кромка колодки в конце хода прессования доходит до верхней кромки опоки. Поэтому высоту рамки рассчитывают и выбирают такой, чтобы после прессования вся рыхлая смесь из нее была впрессована в опоку как раз до ее верхнего уровня *а-а*. Плотность смеси в полуформе уменьшается по мере удаления от прессовой колодки. В зоне модели плотность наименьшая. Поэтому верхнее прессование применяют для опок высотой не более 200-250 мм. Габаритные размеры опок ограничиваются усилием прессования, которое может развивать машина. Уплотнение прессованием отличается высокой производительностью, так как вместо ударов при встряхивании требуется только один ход поршня. Применение вибрации во время прессования (вибропрессование) уменьшает требуемое усилие и увеличивает равномерность уплотнения.

При *нижнем прессовании* (рис. 2.6, б) в роли прессующей колодки выступает модельная плита, что обеспечивает в зоне

модели наибольшую плотность смеси. Стол 1 с моделью 2 движется в окружающей его неподвижной массивной рамке 3. Опоку 4 ставят по штырям 5. После наполнения опоки формовочной смесью над ней устанавливают неподвижную плоскую траверсу 6, и стол, поднимаясь кверху, впрессовывает смесь из рамки в опоку до уровня $b - b$. Верхняя поверхность модельной плиты должна в конце хода точно совпадать с нижней плоскостью опоки (плоскостью разреза литейной формы).

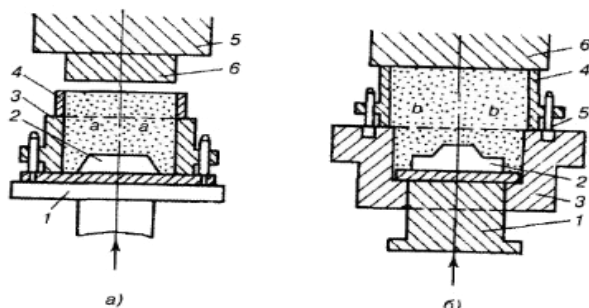


Рис. 2.6. Схемы уплотнения форм верхним (а) и нижним (б) прессыванием: 1 - стол машины; 2 - модель; 3, 4 - опока (или массивная рамка); 5 - прессовая колодка (а) и штыри (б); 6 - траверса

Необходимость точного регулирования длины хода стола, сложная переналадка машины на другой размер опоки, а также попадание смеси в зазоры между подвижной частью и столом и связанный с этим значительный износ этих частей – основные дефекты машины с нижним прессыванием. В результате на практике более распространены машины с верхним прессыванием.

Прессывание под высоким давлением (до 4 МПа) - прогрессивный способ формовки, позволяющий изготавливать полуформы с требуемой степенью уплотнения в высоких оттоках (до 350 мм), с повышенной точностью по размерам и качественной поверхностью. При высокой степени уплотнения повышается теплопроводность смеси, что способствует улучшению структуры металла в отливке.

Уплотнение встряхиванием. Сущность способа уплотнения на встряхивающих машинах показана на рис. 2.7, а. Встряхивающие машины работают по принципу поршня и цилиндра. В станине 1 помещен встряхивающий поршень 2, к которому кре-

пится стол машины 3. На столе закрепляется модельная плита с моделью 4. С помощью сжатого воздуха (давление 0,5...0,6 МПа) поршень со столом, моделью, опокой 5 и предварительно насыпанной в нее формовочной смесью поднимается вверх на высоту 25...100 мм (положение I, II). Стол с определенной высоты падает под действием собственной массы и ударяется о станину 1. При ударе неупругая рыхлая смесь продолжает по инерции двигаться вниз и в результате уплотняется (положение III). За один удар смесь в опоке не успевает хорошо уплотниться, поэтому встряхивающий поршень делает обычно 10...80 ударов.

Плотность набивки при встряхивании максимальна у модели и очень небольшая в верхних слоях, что вызывает необходимость дополнительного уплотнения верхних слоев формовочной смеси либо вручную с помощью пневматических трамбовок, либо допрессовкой. Поэтому на практике большое распространение получили встряхивающие машины с верхней допрессовкой (рис. 2.7, б). Прессовое устройство 6 жестко крепится к станине встряхивающего стола и включается после окончания встряхивания.

Уплотнение смеси встряхиванием менее производительно по сравнению с прессованием и сопровождается шумом. Однако встряхивание дает возможность осуществлять формовку в больших по площади и высоте опоках, изготовлять формы для очень сложных отливок с высокими ребрами и глубокими впадинами.

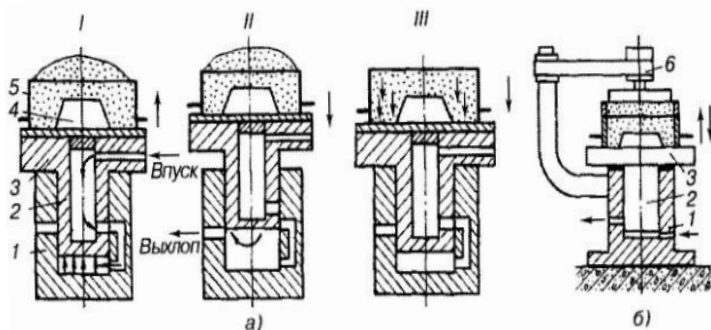


Рис. 2.7. Схема уплотнения формовочной смеси встряхиванием (а) и встряхиванием с подпрессовкой (б); 1 - станина; 2 - поршень; 3 - стол машины; 4 - модель; 5 - опока; 6- прессовое устройство

Уплотнение смеси пескометом. Основной рабочей частью пескомета является метательная головка 1, представляющая собой закрытый кожухом ротор, вращающийся на горизонтальной оси со скоростью 1500, (мин^{-1}) и имеющий одну - три лопатки (ковша) 3 (рис. 2.8). Через отверстие 4 в кожухе 1 лопатки выбрасывают смесь 5, которая в головку подается транспортером 2. При падении за счет силы тяжести смесь уплотняется.

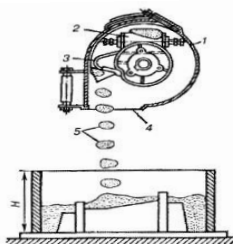


Рис. 2.8. Схема уплотнения смеси пескометом: 1 - кожух; 2 - транспортер; 3 - лопатки; 4 - отверстие в кожухе; 5 - смесь

Головку монтируют на подвижной консоли пескомета, что дает возможность перемещать ее в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Формы или стержни с помощью пескометов изготавливают двумя способами: перемещением пескомета относительно неподвижных опок или стержневых ящичков и перемещением опок или стержневых ящичков с помощью транспортных устройств относительно неподвижно установленного пескомета. Степень уплотнения смеси по высоте опоки практически одинакова. Производительность пескомета составляет не менее 10-12 $\text{м}^3/\text{ч}$ формовочной смеси, поэтому их целесообразно применять для изготовления средних и крупных форм и стержней. Небольшие опоки невыгодно набивать пескометом из-за слишком большой потери смеси, падающей мимо опоки.

Импульсная формовка. Уплотнение смеси происходит за счет удара воздушной (газовой) волны. Опока 3 (рис. 2.9, а), установленная на модельной плите 5, после заполнения формовочной смесью подводится под импульсную головку - рабочий

орган формовочной машины. Сжатый воздух под давлением 6-10 МПа через рассекаТЕЛЬ 1 с большой скоростью поступает в полость формы. Под действием удара воздушной волны формовочная смесь 2 уплотняется в течение 0,02...0,5 с. Воздух через венты 4 в модели и модельной плите 5 удаляется. Верхние слои формовочной смеси уплотняют подпрессовкой с помощью плиты 6. Разработаны конструкции импульсных головок, обеспечивающих надежное уплотнение формовочной смеси по всей высоте опоки без использования последующей подпрессовки ее верхних слоев.

Процесс уплотнения смеси упрощенно можно разделить на два этапа: вначале происходят структурные деформации, а затем - упруго-пластические. В период структурных деформаций первыми уплотняются верхние слои, затем нижележащие; волна сжатия смеси направлена сверху вниз. Воздух, находящийся в порах неуплотненной смеси, в период уплотнения перетекает из более плотных вышележащих слоев в менее плотные - нижележащие. По мере приближения волны сжатия к модельной плите и модели растет и удельное количество воздуха в неуплотненных слоях, а в момент торможения смеси при встрече с жесткой преградой происходит резкое ее уплотнение. За счет возникающих инерционных сил происходит резкое сокращение пор. Находящийся в них воздух удаляется через венты (нижняя вентиляция) в атмосферу, а часть - в вышележащие слои, которые уплотняются несколько позже. Удельное количество воздуха в прилегающих к модельной плите слоях уменьшается, снижается в связи с этим их сопротивляемость, а плотность по сравнению с вышележащей смесью значительно повышается.

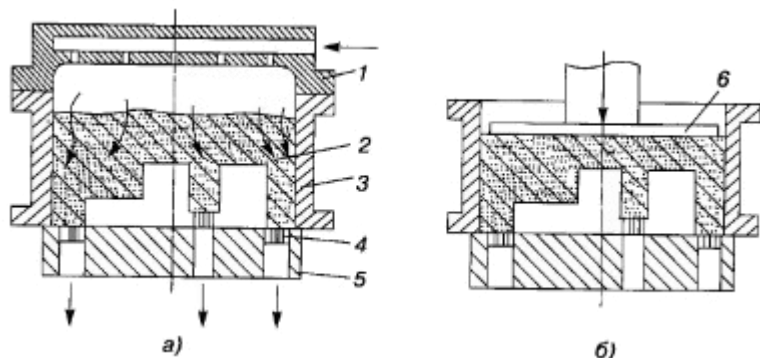


Рис. 2.9. Схема импульсного уплотнения формовочной смеси с последующей подпрессовкой: 1 - рассекаТЕЛЬ; 2 - формовочная смесь; 3 - опока; 4 - венты; 5 - модельная плита; 6 - плита

Характерная особенность этого процесса - наличие вент в модельной плите. Благодаря им поток воздуха создает направленное давление на каждую песчинку формовочной смеси. Смесь перемещается по направлению к моделям и уплотняется. Воздух удаляется через венты. С повышением степени уплотнения давление на смесь увеличивается из-за возрастания сопротивления потоку воздуха, обеспечивающему наибольшее уплотнение формовочной смеси у моделей. В сочетании с последующим обычным прессованием наряду с высокой твердостью поверхности формы достигается равномерная прочность смеси во всем объеме формы. Хорошо уплотняются даже узкие промежутки между моделями и стенками опоки.

Для обеспечения эффективности процесса суммарная площадь проходного сечения вент должна составлять 1,5 % общей площади модельной плиты.

Эффективность пневматического уплотнения тем выше, чем лучше смесь разрыхлена перед заполнением опоки. Поэтому при высоких требованиях к качеству формы на выходе дозатора размещают разрыхляющее сито.

При использовании обычных песчано-глинистых формовочных смесей поверхностная твердость формы достигает 89-94 единиц. Максимальное уплотнение смеси соответствует разъему

полуформы. Степень уплотнения регулируется исходным давлением воздуха в импульсной головке.

Этот метод формовки позволяет использовать смеси повышенной прочности (до 0,2 МПа). Колебания свойств формовочных смесей в заводских условиях практически не влияют на процесс формообразования. Улучшение технологических параметров литейной формы повышает геометрическую точность отливок, снижает брак, улучшает санитарно-гигиенические условия труда за счет полного устранения вибрации и шума. Импульсную формовку можно применять для изготовления отливок различной номенклатуры.

Изготовление и упрочнение стержней. Для производства отливок наиболее часто используют разовые песчаные стержни, упрочняемые тепловой сушкой. Технология изготовления стержней во многом аналогична производству форм. Однако она имеет свои особенности, связанные с тем, что при заливке стержни находятся в более тяжелых условиях, чем литейные формы, и в большинстве случаев вся их поверхность, кроме знаков, омывается расплавом. По этим причинам стержни должны обладать высокими показателями прочности, огнеупорности, газопроницаемости, податливости и, кроме того, они должны легко выбиваться из отливки после ее остывания и извлечения из формы.

На рис. 2.10 показаны мелкие стержни цилиндрической формы (слева) и крупный фасонный стержень (справа). Для повышения газопроницаемости в стержнях выполняют специальные вентиляционные каналы 1, а при изготовлении крупных стержней в них кладут куски шлака 2. Для лучшей прочности в крупные стержни при набивке закладывают арматуру в виде каркасов 3. Для транспортировки и установки крупных стержней в форму предусмотрены специальные подъемы 4.

Стержни изготавливают в стержневых ящиках, внутренняя конфигурация и профиль которых являются негативным отображением контура стержня. Процесс изготовления стержней состоит из трех последовательно выполняемых операций: набивки (формовки) сырого стержня, сушки его, отделки и окраски. Сложные стержни составляют из нескольких простых от-

дельных частей, склеиваемых или скрепляемых после сушки различными способами.

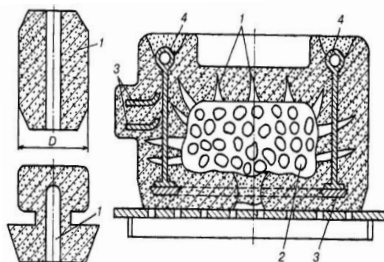


Рис. 2.10. Конструкции стержней: 1 - вентиляционные каналы; 2 - шлак; 3 - каркас; 4 - подъемы

Схемы изготовления стержней в вытряхных ящиках приведены на рис.2.11. Небольшие цилиндрические стержни изготовляют в разъемных стержневых ящиках (рис. 2.11, б). Такой ящик заполняют с торца стержневой смесью. По центру набитого стержня накалывают вентиляционный канал, после чего ящик ставят на сушильную плиту и разбирают.

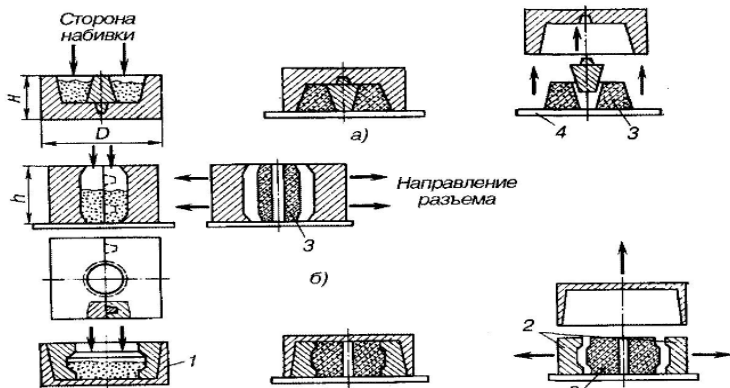


Рис. 2.11. Типы стержневых ящиков и схемы изготовления стержней в вытряхных ящиках (а, в) и в ящиках с вертикальной плоскостью разреза (б): 1 - корпус ящика; 2 - вставки; 3 - стержень; 4 - плита

Стержни сложной конфигурации изготовляют в вытряхных ящиках (рис.2.11, а, в). После набивки стержня ящик накрывают

сушильной плитой и поворачивают на 180°. Далее корпус ящика снимают строго вертикально вверх. Вставки-вкладыши отодвигают от стержня в разные стороны (рис. 2.11, е).

Стержни изготавливают вручную и на машинах. При этом применяют обычные формовочные машины (прессовые, встряхивающие, пескометы и др.) и специальные стержневые машины: пескодувные, пескострельные и др. Последние применяют в серийном и массовом производстве; их производительность 200...300 стержней в час.

Сушка придает стержням высокую прочность за счет химического превращения связующих веществ, приводит к испарению влаги и выгоранию части органических веществ, что повышает газопроницаемость и податливость стержней.

Сушку производят в камерных печах периодического действия, но в условиях массового производства более удобны вертикальные и горизонтальные конвейерные сушилки. Продолжительность сушки и ее температура зависят от массивности и конфигурации стержня, а также от вида входящих в состав стержневой смеси связующих веществ. Стержни из смесей с жидким стеклом для придания им прочности продувают в течение 5...10 мин углекислым газом, который подается через отверстия в стенках ящика или во внутреннюю полость стержня.

Окраска стержня производится после сушки противопригарной графитовой (при получении отливок из серого чугуна) или на основе пылевидного кварца (для стальных отливок) краской, которая улучшает качество поверхности стержня, предупреждает его пригар к отливке.

При изготовлении стержней из стержневой смеси, содержащей в качестве связующего жидкое стекло, применяют не сушку, а продувку смеси в стержневом ящике углекислым газом, способствующим упрочнению стержня. При изготовлении стержней из песчано-смоляных смесей, в которых в качестве связующего используется смола, для упрочнения стержня могут быть использованы как тепловая обработка (для полимеризации смолы), так и продувка различными газами.

Сборка и заливка форм расплавом. Сборка форм под заливку - одна из ответственных операций. Вначале проверяют качество поверхности и основные размеры формы и стержней. Под-

готовленные стержни устанавливают в форму в соответствующем технологии порядке. Стержни должны быть достаточно устойчиво закреплены в знаках. Одновременно проверяют точность размеров основных полостей формы с помощью специальных шаблонов. Форму продувают воздухом для удаления засоров. Особенно тщательно должна быть очищена полость литниковой системы. Затем нижнюю полуформу накрывают верхней и фиксируют. После этого верхнюю и нижнюю опоки скрепляют для противодействия поднимающим усилиям, которые возникают при заполнении формы расплавом. Масса груза или сечения скрепляющих скоб (струбцин, болтов) должна быть на 30...50 % больше расчетных поднимающих усилий.

На автоматических линиях сборка форм производится механизмами: стержнеукладчиками (манипуляторами), устанавливающими отдельные стержни или блок стержней в форму; сборщиками - устройствами для установки верхней полуформы на нижнюю.

Заливку форм в механизированных цехах осуществляют на конвейерах или рольгангах, иногда на специальной площадке (в единичном и мелкосерийном производстве выполняется на плацу). Расплав заливают в форму с помощью ковшей или заливочно-дозировующих устройств.

Литейный ковш имеет металлический кожух, который изнутри футерован огнеупорным материалом. По способу регулирования расхода расплава при заливке их подразделяют на поворотные и стопорные ковши.

Из поворотных ковшей - *чайниковых* (рис. 2.12, а) или *бараньих* (рис. 2.12, б) расплав разливают в формы через сливной носок 1, а расход расплава регулируют поворотом ковша вокруг горизонтальной оси. Наклоняют их с помощью ручных рычажных систем или самотормозящихся червячных механизмов 3, приводимых в действие от ручного штурвала 2 или электродвигателя. При разливке из поворотных ковшей возможно попадание шлака в рабочую полость формы. Для предупреждения этого в ковшах устанавливают перегородки, обеспечивающие поступление чистого расплава из нижних уровней. Такие ковши называют *чайниковыми*. Их используют при заливке чугуна и сплавов цветных металлов.

Из *стопорных* ковшей расплав разливают через отверстие огнеупорного стакана, размещенного в днище ковша. Отверстие открывают и перекрывают с помощью стопора - стального штока с пробкой на конце, футерованного керамическими трубками и жестко связанного с механизмом его подъема и опускания. При разливке из стопорных ковшей в полость формы всегда поступает расплав, свободный от шлака. Стопорные ковши используют главным образом для разливки стали и высокопрочного чугуна.

Температура заливки: 1550...1600 °С (сталь); 1350...1380 °С (серый чугун); 1400...1450 °С (высокопрочный чугун); 630...740 °С (алюминиевые сплавы); 920...980 °С (латуни) и 1200...1250 °С (бронзы).

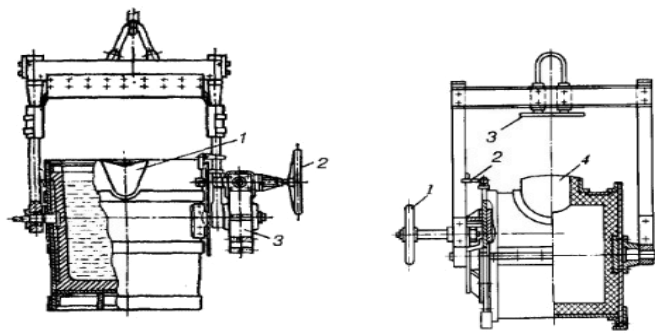


Рис. 2.12. Поворотные чайниковый (а) и барабанный (б) разливочные ковши. а: 1 - носок; 2 - штурвал; 3 - червячный механизм; б: 1 - штурвал; 2 - предохранительная скоба; 3 - экранирующий щиток; 4 - сливной носок

При заливке на плацу емкость ковшей выбирают достаточной для заливки 4 - 10 мелких форм или 2 - 4 крупных форм. При конвейерной заливке емкость ковша выбирается достаточной для заливки 5 - 20 форм.

Затвердевание и охлаждение отливок. Залитый в форму расплав постепенно теряет избыток содержащейся в нем теплоты, затвердевает и охлаждается. Теплота от отливки отводится в форму и через нее - в окружающую среду. Режим отвода теплоты, особенно в период затвердевания отливки, имеет большое

значение, он влияет на формирование структуры кристаллизующегося сплава, на его плотность и однородность. Затвердевание отливки происходит не сразу по всему сечению; оно начинается в поверхностных слоях, затем переходит в глубинные слои и заканчивается в прибыли или, при ее отсутствии, в областях, являющихся термическими центрами отливки. После полного охлаждения отливка должна иметь заданную плотность и однородность, минимальные внутренние напряжения, гладкую и чистую поверхность. Эти требования можно обеспечить при правильном использовании законов, обуславливающих процесс кристаллизации сплавов и предопределяющих меры, способные предупредить образование в отливке различных дефектов.

После затвердевания отливку выдерживают в форме для охлаждения до температуры выбивки. Чем выше температура выбивки, тем короче технологический цикл изготовления отливки и больше производительность формовочно-заливочного участка. Однако высокая температура выбивки нежелательна из-за опасности разрушения отливки, образования в ней дефектов или ухудшения ее качества.

Длительная выдержка в форме с целью охлаждения до низкой температуры нецелесообразна с экономической точки зрения, так как удлиняет технологический цикл изготовления отливки. Поэтому выбивку стремятся производить при максимально высокой допустимой температуре. Она зависит от природы сплава, а также от конструкции (сложности) отливки. Стальные отливки рекомендуется выдерживать в форме до 500...700 °С, чугунные - до 400...500 °С.

Выбивка форм. Выбивку форм обычно выполняют на механических выбивных решетках, которые по принципу действия классифицируют на эксцентриковые, инерционные и инерционно-ударные. Решетка с литейной формой с помощью привода и опорной пружины совершает колебательное движение. В каждом цикле колебаний решетки форма подбрасывается вверх и затем, падая, ударяется о решетку или опорную раму. В момент соударения под действием сил инерции форма разрушается. Выбитая из опоки формовочная смесь проваливается через решетку и системой конвейеров передается к месту ее переработ-

ки для повторного использования, а отливка снимается с решетки и отправляется на обрубку.

На поточных и автоматических линиях отливки удаляют из опоки выдавливанием вместе с комом смеси, а затем освобождают от смеси на выбивных решетках, но этот метод применяется только для опок, не имеющих крестовин.

Выбивка форм сопровождается выделением большого количества газов, тепла, пыли и сильным шумовым эффектом. Поэтому решетки оборудуются пылегазоулавливающими и звукоизоляционными системами.

Комплексное решение многих проблем может быть достигнуто *выбивкой в гидравлических камерах*, где струя воды толщиной 5...20 мм под давлением 5...10 МПа размывает формовочную смесь. Этот метод хорошо вписывается в схему мокрой регенерации оборотной смеси, и, кроме того, в нем одновременно сочетаются выбивка форм, удаление стержней из отливок и очистка поверхности от пригара. Для выбивки форм используют герметичные камеры, в которые формы закатывают на тележках.

В технологических процессах производства отливок в разовых формах стремятся исключить операцию выбивки стержней, для чего в них применяют легко выгорающие связующие, а стержни стараются делать полыми и тонкостенными. В этом случае удаление стержня из отливки происходит одновременно с ее выбивкой из формы. Если же выбивка стержней необходима, то ее осуществляют на пневматических вибрационных машинах, в гидравлических камерах и электрогидравлических установках.

Электрогидравлический способ выбивки стержней и очистки отливок заключается в использовании электрогидравлического эффекта, возникающего при высоковольтном разряде в воде между специальным электродом и поверхностью отливки. При этом в жидкости возникают ударные волны, которые разрушают стержни и пригоревшую к отливке смесь, очищая ее поверхность.

Кратко подытоживая вышесказанное, назовем технологические возможности литья в песчаные формы:

материал отливки - все литейные сплавы (кроме тугоплавких);

масса отливки - от 0,25 кг до 250 т;

минимальная толщина стенки отливки 3...5 мм (чугун), 5...8 мм (сталь) и 3...8 мм (сплавы цветных металлов);

наибольший габаритный размер отливки - до 10 м;

коэффициент использования металла - до 0,7;

минимальная партия отливок, обеспечивающая рентабельность процесса, - без ограничений (даже 1 шт.).

2.2. Специальные способы литья

Традиционный метод литья в разовые объемные песчаные формы обладает существенными недостатками: низкой точностью размеров отливок, высокими значениями параметров шероховатости отливок, высокой трудоемкостью финишных операций. Отливка, полученная в песчано-глинистых формах (ПГФ), часто требует большего объема обработки резанием для достижения требуемой чертежом детали точности и шероховатости. Назрела необходимость приблизить заготовки по форме и размерам к готовой детали, появились новые методы получения заготовок. В производстве литых заготовок значительное место занимают так называемые специальные методы литья. Это литье по выплавляемым моделям, в оболочковые керамические формы, в кокиль, под давлением, центробежное литье, литье с применением электрического и магнитных полей, ультразвуковой обработки расплава, суспензионное литье, позволяющие получить отливки повышенной точности, с малой шероховатостью поверхности, минимальными припусками на обработку (а иногда и полностью исключаящими ее), высокими эксплуатационными свойствами[3].

Получение отливок перечисленными методами, по сравнению с литьем в песчаные формы, более производительнее, позволяет улучшить условия труда и уменьшить вредное влияние на окружающую среду.

Отливки, полученные специальными методами, могут быть дороже, чем при литье в ПГФ, но экономия на обработке этих отливок часто перекрывает повышение расходов на отливку.

Важнейшим преимуществом специальных видов литья является то, что ряд отливок вообще может быть получен только этими методами. К таковым относятся особосложные и особотонкостенные отливки.

Литье в оболочковые формы. Особенность литья в оболочковые формы заключается в том, что в данном способе используется оболочковая форма, изготавливаемая из песчано-смоляных смесей по горячей модельной оснастке (рис. 2.13). При насыпке смеси на нагретую металлическую модельную плиту смола плавится в слое смеси, примыкающей к плите, связывая песчинки в полутвердую оболочку (скорлупку) с толщиной стенки 6 -15 мм. Для окончательного твердения плиту с оболочкой помещают в печь, после извлечения из которой оболочковая полуформа снимается с плиты, склеивается со второй полуформой, заформовывается в ящики с дробью или песком и заливается сплавом. В оболочковых формах изготавливают отливки практически из любых сплавов, рассмотренных выше. Оболочковые формы прочны, негигроскопичны и не осыпаются, высыхая со временем (как сырые ППФ), поэтому их можно хранить в течение длительного времени.

Литье в оболочковые формы применяется преимущественно для отливок, формы для которых имеют одну плоскость разъема и минимальное число стержней. Способ применяется при крупносерийном и массовом производстве отливок. В этом случае возможно в наибольшей мере использовать преимущества автоматизации, заложенные в технологии оболочкового литья. Этот способ рационально применять тогда, когда механическая обработка отливок может быть устранена или доведена до минимума, а также для отливок, изготовление которых в обычных песчаных формах сопряжено с трудоемкой очисткой и повышенным браком в связи с поверхностными дефектами и газовыми раковинами. Масса получаемых отливок обычно не превышает 10-15 кг.

Технологический процесс изготовления оболочковой формы представлен на рис. 2.13[2, 11].

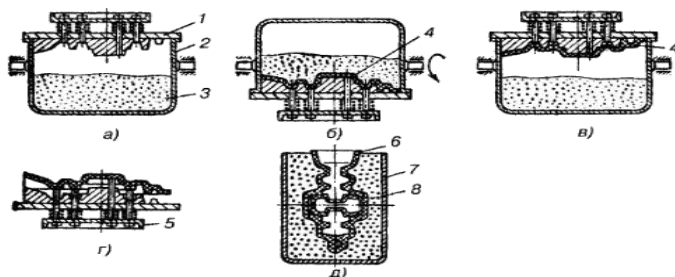


Рис. 2.13. Последовательность операций при изготовлении оболочковой формы: 1 - модельная плита; 2 - бункер; 3 - сухая песчано-смоляная формовочная смесь; 4 - образовавшаяся оболочка; 5 - плита с толкателями; 6 - форма в сборе; 7 - опока (кварцевый песок или дробь); 8 - засыпка (кварцевый песок или дробь)

Технологический процесс изготовления оболочковой формы состоит из следующих операций (рис.2.13):

1) нагрев модельной оснастки (металлической модельной плиты) до $200...250^{\circ}\text{C}$;

2) закрепление модельной плиты 1 на опрокидывающемся бункере 2 с формовочной смесью 3 (рис. 2.13, а);

3) поворот бункера на 180° , в результате которого сухая формовочная смесь, состоящая из мелкозернистого кварцевого песка, термореактивной смолы (пудвербакелита) и небольших других добавок, улучшающих качество смеси, насыпается на модельную плиту (рис. 2.13, б);

4) выдержка смеси на поверхности модели в течение $10...30$ с. От теплоты модельной плиты термореактивная смола в пограничном слое переходит в жидкое состояние, обволакивает частички песка и образует песчано-смоляную оболочку 4 толщиной $10...20$ мм (в зависимости от времени выдержки);

5) удаление излишков формовочной смеси с образовавшейся оболочки при повороте бункера в исходное положение (рис. 2.13, в);

6) отделение модельной плиты с оболочкой от бункера и нагрев их в печи до температуры $350...450^{\circ}\text{C}$ (с последующей выдержкой в течение $1...1,5$ мин) до окончания полимеризации смолы (перехода ее в необратимое твердое состояние);

7) съем оболочковой полуформы с модельной оснастки специальными толкателями 5 (рис. 2.13, г);

8) изготовление второй полуформы (аналогично);

9) сборка формы (с установкой оболочковых стержней), склеивание полуформ.

Заливка форм производится в вертикальном или горизонтальном положении. При заливке в вертикальном положении литейные формы 6 помещают в опоки-контейнеры 7 и засыпают кварцевым песком или металлической дробью 8 (рис. 2.13, д) для предохранения от преждевременного разрушения оболочки при заливке расплава.

Преимущества литья в оболочковые формы по сравнению с литьем в песчаные формы:

1) уменьшение параметров шероховатости поверхности и существенное улучшение товарного вида отливок;

2) возможность изготовления отливок с тонким и сложным рельефом, а толстостенных отливок - с литыми каналами малых сечений;

3) уменьшение трудоемкости ряда операций технологического процесса (особенно таких, как приготовление формовочной смеси, изготовление формы, очистка отливок и т.п.);

4) сокращение (в 8...10 раз) объема переработки и транспортировки формовочных материалов, снижение (примерно в 2 раза) первоначальных капитальных затрат и производственных площадей, уменьшение металлоемкости формовочного оборудования.

Основные недостатки литья в оболочковые формы:

1) сложность модельной оснастки;

2) относительно высокая стоимость и дефицитность связующего (смола);

3) недостаточная прочность оболочек при получении относительно тяжелых отливок (массой свыше 100 кг);

4) сложность ввода в технологический поток отливок нового наименования (в связи с необходимостью предварительного нагрева модельной оснастки).

Подытоживая вышесказанное, назовем технологические возможности литья в оболочковые формы:

материал отливки - все литейные сплавы, кроме тугоплавких,

масса отливки - 0,5...150 кг,

толщина стенки отливки минимальная - 3...5 мм (сталь), 2...3 мм (чугун), 1...1,5 мм (алюминиевые сплавы); рекомендуемая - 2...8 мм,

наибольший габаритный размер отливки - 1000 мм,

припуски на механическую обработку - 0,3...2 мм,

коэффициент использования металла - до 0,8,

минимальная партия отливок, обеспечивающая рентабельность способа литья, - 250 шт.

Литье по выплавляемым моделям. Литье по выплавляемым моделям - способ получения отливок в многослойных оболочковых (керамических) неразъемных разовых формах, изготавливаемых с использованием выплавляемых, выжигаемых или растворяемых моделей однократного использования.

Применение литья по выплавляемым моделям обеспечивает возможность изготовления из любых литейных сплавов фасонных отливок, в том числе сложных по конфигурации и тонкостенных. При этом способе отливка не имеет заливов по контуру разъемов, так как форма не имеет разъемов, и размеры ее более точны, чем при литье в песчаные формы, поскольку здесь исключены основные причины потери точности: расталкивание формы моделью, перекос формы, подъем верхней опоки, раздутие формы и т.д. Отверстия, за исключением очень узких и длинных, получаются без применения стержней. Способ длителен, трудоемок и дорог, но оправдывается во многих случаях тем, что отливки почти не нуждаются в механической обработке. Этим способом отливают изделия, которые прежде изготавливали путем сложной механической обработки.

В результате значительно снижаются трудоемкость и стоимость изготовления изделий, сокращаются расходы металла и инструмента, потребность в производственных площадях, уменьшается энергоемкость производства и потребность в рабочих-станочниках высокой квалификации. Следует отметить, что себестоимость изготовления отливок литьем по выплавляемым моделям высокая. К недостаткам процесса следует также отнести сложность очистки отливок (чаще всего - выщелачивание), длительность и трудоемкость технологии изготовления отливок.

Последовательность изготовления отливок литьем по выплавляемым моделям приведена на рис. 2.14.

Технологический процесс изготовления отливок литьем по выплавляемым моделям состоит из следующих последовательно-параллельных операций (рис. 2.14):

изготовление модели из легкоплавкого (с температурой плавления до 100°C) материала, например из смеси парафина и стеарина в соотношении 50:50 (рис. 2.14, а);

сборка моделей в модельный блок, содержащий, кроме моделей, литниковую чашу, стояк и питатели (рис. 2.14, б);

формирование оболочковой формы, при котором вначале окунают модельный блок в сметанообразную массу (рис. 2.14, в), представляющую собой смесь пылевидного кварца (маршалита) и гидролизованного раствора этилсиликата или другого связующего, затем обсыпают его сухим кварцевым песком (рис. 2.14, г) и выдерживают в воздушно-аммиачной камере (для упрочнения оболочки формы). Операции окунания, обсыпки песком и сушки повторяют 5-6 раз, для того чтобы образовался слой оболочковой формы толщиной 6...8 мм;

сушка пустотелой формы (рис. 2.14, д);

прокалка формы при температурах $850...950^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.14, з); (рис. 2.14, е);

установка литейной формы в контейнер и засыпка сухим кварцевым песком (рис. 2.14, ж);

заливка расплава в горячую форму, имеющую температуру $900...950^{\circ}\text{C}$ при литье стали и $400...450^{\circ}\text{C}$ - при литье алюминиевых сплавов (рис. 2.14, и).

отбивка остатков оболочковой формы от отливок и отрезка отливок от стояка, зачистка отливок, может быть применена операция выщелачивания (выдержка отливок в растворе КОН или NaOH) для удаления остатков керамики.

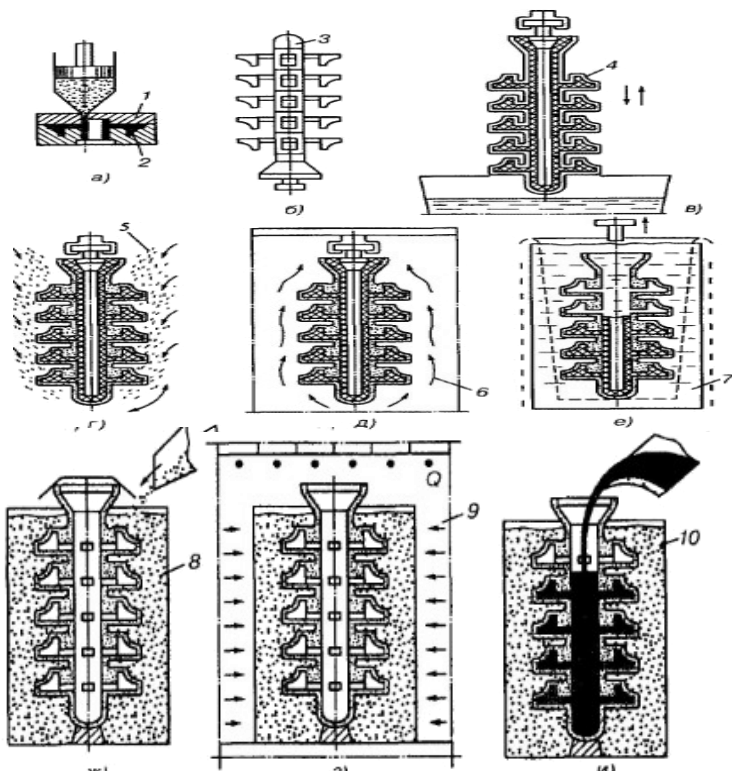


Рис. 2.14. Последовательность операций при литье по выплавляемым моделям: *а* - запрессовка модельного состава в пресс-форму; *б* - сборка модельного блока; *в* - нанесение на блок суспензии; *г* - обсыпка огнеупорным зернистым материалом; *д* - сушка; *е* - удаление модели; *ж* - засыпка огнеупорным материалом; *з* - прокалка в печи; *и* - заливка формы расплавом; *к* - пресс-форма; 2 - модель; 3 - блок моделей отливок и литниковой системы; 4 - слой суспензии; 5 - огнеупорный зернистый материал; 6 - пары аммиака; 7 - горячая вода; 8 - опорный материал; 9 - печь; 10 - прокаленная форма; горячая вода; Q - подвод теплоты

Технологические возможности литья по выплавляемым моделям:

материал отливки - все литейные сплавы,
 масса отливки - 0,02.. .50 кг,

толщина стенки - 0,5...0,7 мм (минимальная), 2...5 мм (рекомендуемая) при соотношении толщин стенок не более 1:4,
наибольший габаритный размер - 400 мм,
припуски на механическую обработку - 0,5...1,4 мм,
коэффициент использования металла - до 0,95,
минимальная партия отливок, обеспечивающая рентабельность процесса, - 3000 шт.

Литье в кокиль (литье в металлические формы). Литье в кокиль - это процесс изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов свободной (под действием силы тяжести) заливкой расплава в металлические формы - кокили.

Кокиль представляет собой литейную форму многократного использования. Перед заливкой кокиль подготавливают к работе: очищают от следов загрязнений, остатков отработанного покрытия или ржавчины; подогревают до 120...150 °С; наносят новое защитное покрытие и подогревают до заданной температуры - 150...300 °С. Затем осуществляют сборку кокиля с установкой стержней и заливают расплавом. После охлаждения до заданной температуры кокиль раскрывают, после чего отливку извлекают из кокиля. Последовательность изготовления отливки в кокиле с металлическими стержнями и вертикальной плоскостью разъема приведена на рис. 2.15.

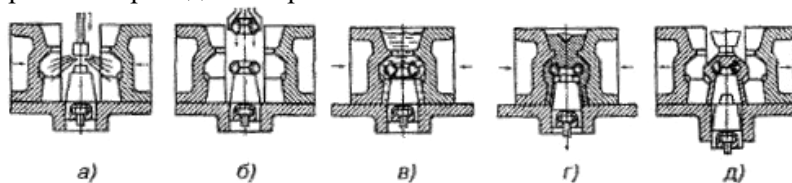


Рис. 2.15. Последовательность изготовления отливки в кокиле (стрелки - последовательность направления движения деталей кокиля):
а - окраска кокиля; б - установка стержней; в - сборка и заливка формы; г - затвердевание отливки; д - разборка кокиля

Чугунные отливки могут иметь отбел, поэтому их необходимо отжигать. В кокилях трудно получить сложные стальные отливки из-за значительной усадки стали, что при отсутствии податливости формы может привести к образованию трещин. При изготовлении стальных отливок срок службы кокилей на

2...3 порядка меньше срока службы кокилей для отливок из сплавов цветных металлов. Отливки, залитые в кокили, имеют большую точность и более низкую шероховатость поверхности, чем при литье в песчаные формы, и требуют меньшего припуска на механическую обработку. Структура металла получается более мелкозернистой, вследствие чего повышается его прочность, и устраняется необходимость в формовочном и смесеприготовительном хозяйстве, улучшаются технико-экономические показатели (ТЭП) производства и санитарно-гигиенические условия труда

ТЭП литья зависят от типа производства, характеристики и массы отливок. Например, литье в кокиль следует применять в серийном и массовом производствах, когда партия отливок составляет не менее 300-500 шт., в механизированных кокилях получают чугунные и стальные отливки массой до 160 кг, отливки из сплавов цветных металлов массой до 50 кг; в немеханизированных - до 10 и 0,5 т соответственно.

Достоинства литья в кокиль проявляются в:

1) повышении технико-экономических показателей производства отливок благодаря сокращению числа технологических операций и продолжительности технологического цикла, упрощению задачи комплексной механизации и автоматизации производства, сокращению основных и вспомогательных материалов, уменьшению потерь от брака, увеличению объема годной продукции с единицы производственной площади и уменьшению капитальных затрат;

2) повышении качества отливок вследствие увеличения их плотности, прочности, пластичности (в ряде случаев) и износостойкости;

3) повышении точности и качества поверхности;

4) уменьшении припусков на механическую обработку;

5) улучшении условия труда, снижение отрицательного влияния на окружающую среду благодаря резкому сокращению потребления формовочных и вспомогательных материалов.

Недостатками литья в кокиль являются:

1) сложность изготовления и ограниченная стойкость кокиля (последняя резко падает по мере повышения температуры заливаемого расплава);

2) необходимость применения сложных песчаных и металлических стержней при изготовлении отливок с внутренними полостями;

3) сложность получения тонкостенных отливок вследствие ускоренного охлаждения расплава при его заливке и последующем охлаждении;

4) склонность отливок к образованию трещин и других дефектов из-за неподатливости формы;

5) повышенная чувствительность к отклонениям параметров процесса и свойств, применяемых материалов.

Кокили бывают вытряхные, створчатые, с параллельным разъемом, с несколькими разъемами [3, 10, 11]. Первые три типа стандартизованы. Распространены неразъемные (вытряхные) кокили, которые часто применяют при изготовлении отливок несложной конфигурации в условиях мелкосерийного и серийного производств. В них изготавливают отливки типа колец, втулок, полуколец, фланцев, корпусов, крышек, поршней, шестерен и колес из чугуна, стали и реже из сплавов цветных металлов. Отливки, изготавливаемые в неразъемных кокилях, не имеют местных приливов и выступов (углублений) на наружной поверхности, что обеспечивает легкое извлечение их из кокиля. В случае изготовления в неразъемных кокилях отливок с местными приливами (выступами) и углублениями на наружных поверхностях отливки, затрудняющими удаление их из кокилей, устанавливают многократно используемые металлические вкладыши или разовые песчаные стержни, которые затем удаляют из полости кокиля вместе с отливкой. У верхнего торца кокиля выполняются приливы для крепления стержней клиньями или для накладных зажимов.

Вытряхные кокили отливают из чугуна и стали. Они имеют жесткую конструкцию и мало коробятся под воздействием высоких температур. Кокили обычно имеют стенки постоянной толщины, а внешние их очертания повторяют контуры наружных поверхностей. Отливки из сплавов цветных металлов в таких кокилях изготавливают редко.

Створчатые кокили применяются для отливок, форма которых позволяет раскрывать кокиль поворотом полуформы относительно оси колонки (например, круглых с осью, лежащей в

плоскости разъема или с достаточными уклонами в одной полуформе).

Кокили с горизонтальной плоскостью разъема (рис. 2.1, б) применяют для изготовления средних и крупных по массе чугунных и стальных отливок типа шестерен, колец, корпусов и т. п. в условиях серийного производства. Отливки из сплавов цветных металлов в таких кокилях изготавливают редко.

Для изготовления отливок сложной конфигурации (с выступами на внешней поверхности) применяют кокили с несколькими горизонтальными разъемами, а в ряде случаев - и с металлическими стержнями. Внутренние полости отливки могут иметь любую конфигурацию, так как они выполняются с применением сухих и сырых (реже) песчаных стержней. Металлические стержни и вкладыши в кокилях с горизонтальной плоскостью разъема используют только для выполнения в отливках простых полостей и цилиндрических отверстий.

Нижние и верхние половины кокиля отливают из чугуна и реже из стали. За счет наличия ребер они имеют жесткую конструкцию, что уменьшает их коробление при нагреве до высоких температур. Это обуславливается также тем, что их наружные поверхности повторяют внешнюю конфигурацию контуров отливки и ее прибыли, благодаря чему кокиль имеет стенки равномерной толщины. Часто верхнюю половину кокиля выполняют более массивной, чем нижнюю, поэтому она является одновременно и грузом, препятствуя подъему ее расплавом в момент окончания заливки.

Кокили с вертикальной плоскостью разъема (рис. 2.15) чаще всего применяют для изготовления простых и средних по сложности отливок из сплавов цветных металлов и чугуна. В таких кокилях полость для формирования отливки и литниковую систему располагают в плоскости разъема. Внутренние полости в них могут оформляться различными стержнями (металлическими, песчаными и песчаными оболочковыми). Так как металлические стержни нагреваются во время контакта с расплавом больше, чем половинки кокиля, то для исключения их заклинивания в рабочем положении в кокиле предусматриваются зазоры. Кокили чаще всего выполняют с равномерной толщиной стенки, в них выполняют вентиляционные каналы для

удаления воздуха и газов из рабочей полости во время заливки расплавом и систему охлаждения.

В условиях массового и крупносерийного производств мелких и средних отливок применяют механизированные и автоматизированные кокили, а для изготовления крупных и тяжелых отливок, выпускаемых мелкими партиями, - немеханизированные или маломеханизированные кокили.

Технологические возможности литья в кокиль:

материал отливки - все литейные сплавы;

масса отливки до 200 кг;

минимальная толщина стенки - для отливок из чугуна 4...6 мм, для отливок из стали 8...10 мм, для отливок из алюминиевых сплавов 2,2...5,5 мм;

коэффициент использования металла - до 0,8;

минимальная партия, обеспечивающая рентабельность способа литья, - 300...500 шт. (в зависимости от используемого литейного сплава).

Литье под давлением (рис. 2.16) является одним из наиболее современных способов литья в условиях крупносерийного и массового производств. Литьем под давлением изготавливают преимущественно тонкостенные отливки, масса и теплосодержание которых даже при больших габаритных размерах в сотни раз меньше массы и теплосодержания металлических форм, называемых пресс-формами. Высокая скорость теплоотдачи от отливки к пресс-форме обуславливает необходимость быстрого заполнения (менее 0,1 с) последней. Такое заполнение обеспечивает машина, в котором залитый в камеру прессования расплав под большим усилием (30...100 МН) и с высокой скоростью (до 100 м/с) запрессовывается в пресс-форму. Высокие скорости впускного потока способствуют качественному оформлению рельефа отливки сложной конфигурации. Вследствие гидравлического удара поверхностный слой отливки (0,02...0,2 мм) получается очень плотным.

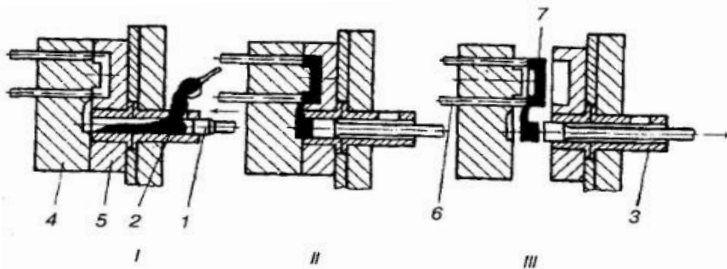


Рис. 2.16. Схема процесса литья под давлением на машине с холодной горизонтальной камерой прессования: *I* - положение во время заливки; *II* - то же во время прессования; *III* - то же после размыкания пресс-формы; 1 - поршень; 2 - расплав; 3 - камера прессования; 4 - подвижная полуформа; 5 - неподвижная полуформа; 6 - толкатель

Недостатками литья под давлением являются высокая стоимость, сложность и длительность изготовления пресс-форм; низкая стойкость пресс-форм (особенно при литье сплавов с высокой температурой плавления, в частности при литье медных сплавов она составляет 5...20 тыс. запрессовок; при литье алюминиевых сплавов – 30...50 тыс. запрессовок); трудность изготовления отливок со сложными полостями; неподатливость пресс-формы, приводящая к возникновению в отливках повышенных внутренних напряжений; ограничения по номенклатуре отливок и серийности производства.

В толстых стенках отливки может возникнуть усадочная пористость, поэтому толщина стенок отливок не должна превышать 6 мм. Схема литья под давлением на машинах с холодной горизонтальной камерой прессования (рис. 2.16, *I*) следующая. Расплав 2 заливают мерной ложкой (или заливочным устройством) в камеру прессования 3. Прессующий поршень 1, передвигаясь влево, воздействует на расплав 2, который под действием этого давления через питатель заполняет рабочую полость пресс-формы, оформляемую двумя полуформами 4 и 5.

После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается (полуформа 4 отходит в сторону), а отливка 7 вместе с литником 10 выталкивается толкателями 6.

Сплавы для литья под давлением (алюминиевые сплавы АК12, АК9ч, АК7ч и др., магниевые сплавы МЛ5 и МЛ6, цин-

ковые сплавы ЦА4, ЦАМ 4-1, ЦАМ 5-10, латуни ЛЦ40С и ЛЦ16К4) должны иметь по возможности небольшой интервал кристаллизации, что способствует получению отливок с равномерной плотностью по объему, достаточной прочностью и пластичностью, хорошей жидкотекучестью и т.п.

Номенклатура отливок, изготавливаемых литьем под давлением, разнообразна. Часто получают не заготовки, а изделия, почти не требующие дальнейшей обработки резанием, так как качество отливок по точности и шероховатости поверхности значительно превышает эти же качества отливок, изготавливаемых другими способами литья.

Отливки могут иметь простую и очень сложную конфигурации, толщину стенки 0,5...6 мм, массу от нескольких граммов до 45 кг, размеры от нескольких мм до 700 мм. Литьем под давлением можно получать отливки с готовой внутренней или внешней резьбой, с разнообразной арматурой, с полостями и каналами сложной конфигурации, образуемыми армирующими элементами. Габаритные размеры отливок и их масса ограничены усилием запирающего механизма, размерами камеры прессования и мощностью прессующего механизма машины литья под давлением, а также свойствами сплава.

Технологические возможности литья под давлением:

- материал отливок - легкоплавкие сплавы (алюминиевые, магниевые), а также бронзы, латуни,
- масса отливки - до 50 кг,
- минимальная толщина стенок 1,5 мм,
- максимальный размер 700 мм,
- припуски на механическую обработку 0,1...0,3 мм,
- коэффициент использования металла - до 0,95,
- минимальная партия отливок, обеспечивающая рентабельность способа литья, 3000 шт.

Литьем с кристаллизацией под давлением изготавливают плотные отливки с уменьшенными припусками на механическую обработку и высокими физико-механическими свойствами. Выход годного (отношение массы отливки к массе затраченного на нее металла) достигает 95 %.

Отливки изготавливают в пресс-формах, изготавливаемых из штамповых сталей и состоящих из матрицы, прессующего узла,

толкателей и съемников. Верхнюю плиту с закрепленными на ней деталями прессующего узла закрепляют на ползуне гидравлического пресса, а нижнюю с размещенными на ней матрицей и механизмами выталкивания отливки - на столе пресса.

Процесс литья с кристаллизацией под давлением заключается в заливке жидкого металла в матрицу пресс-формы (называемой также штампом) с последующим давлением пуансоном для оформления контура отливки и уплотнения металла. При этом наблюдается измельчение структуры, устранение пористости, повышение физико-механических и эксплуатационных свойств. При этом (в сравнении с другими способами литья) достигается повышение прочностных свойств отливок на 15-30 % и пластических - в 2...4 раза.

После извлечения из пресс-формы отливку можно подвергать различным видам последующей обработки (термической, давлением и т.п.).

Подготовка пресс-форм заключается в установке и закреплении матрицы на столе пресса, а пуансона - на подвижной его траверсе, нагреве пресс-формы до рабочей температуры (150...250 °С) и смазке рабочих поверхностей. В отличие от обычных кокилей и пресс-форм литья под давлением заливку расплава производят в открытую матрицу. Матрица перекрывается пуансоном после заливки расплава, когда траверса пресса перемещается вниз. После перекрытия полости матрицы осуществляется окончательное формообразование отливки и выдержка ее под заданным давлением до окончания затвердевания.

Время до приложения давления к расплаву должно быть минимальным; оно зависит от технических возможностей гидравлического пресса, массы залитого расплава, конфигурации и толщины стенки отливки.

Способом литья с кристаллизацией под давлением изготавливают простые и сложные по конфигурации отливки из чистых металлов и сплавов на основе алюминия, магния, меди, цинка и железа (литейных и деформируемых), используя для этой цели как специализированные, так и неспециализированные гидравлические прессы и машины (последние со скоростью холостого хода ползуна не менее 100 мм/с).

Литье с кристаллизацией под давлением рекомендуется использовать для изготовления следующих отливок: с повышенными требованиями по плотности и герметичности; поршней двигателей внутреннего сгорания, пневмо- и гидроцилиндров; корпусов приборов и т.п., а также отливок из композиционных материалов с металлической матрицей.

В отличие от отливок, изготовленных литьем под давлением, отливки, изготовленные литьем с кристаллизацией под давлением, можно и нужно подвергать термической обработке, что позволяет существенно повысить механические и служебные свойства отливок и деталей.

Применяют несколько схем процесса. На рис. 2.17 представлены основные схемы прессования.

При *пуансонном прессовании* (рис. 2.17, а-в) под действием выступающей части пуансона незатвердевший сплав выдавливается вверх до полного заполнения рабочей полости формы, оформляемой матрицей и пуансоном, после чего отливка выдерживается под давлением до окончания затвердевания.

При *поршневом прессовании* (рис. 2.17, з) давление кристаллизующемуся расплаву передается пуансоном, перекрывающим открытую полость матрицы и действующим на верхний торец формирующейся отливки в течение времени, необходимого для ее затвердевания.

Литьем с кристаллизацией под давлением изготавливают отливки с толщиной стенки 2...100 мм, а также слитки диаметром 30...600 мм. Для этого процесса предпочтительными являются такие отливки, для которых могут быть использованы прессформы с неразъемной матрицей. Поэтому на наружных боковых поверхностях отливок не должно быть выступов и поднутрений, препятствующих извлечению их из матрицы.

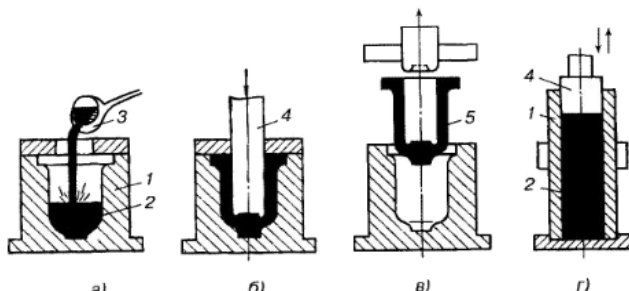


Рис. 2.17. Схемы литья с кристаллизацией под давлением:
а, б, в - пуансонное прессование (*а* - заливка расплава в матрицу;
б - формообразование и уплотнение затвердевающей отливки;
в - извлечение отливки из формы); *г* - поршневое прессование;
1 - матрица; *2* - расплав; *3* - заливочный ковш; *4* - пуансон; *5* - отливка

Вместе с тем на верхней плоскости заготовки, оформляемой пуансоном, и на нижнем торце, соприкасающемся с дном матрицы, возможны различные выступы и углубления, для выполнения которых в обычных условиях необходимо большое число операций фрезерования.

Технологические возможности литья с кристаллизацией под давлением:

материал отливки - любые сплавы, включая деформируемые;

масса отливки - до 80 кг;

минимальная толщина стенки отливки - 2 мм;

максимальный габаритный размер отливки - 400 мм;

минимальный припуск на обработку - 0, 3...0, 5 мм;

коэффициент использования металла - до 0,9;

экономически оправданная серийность - 1500 шт.

Центробежное литье - способ изготовления отливок, при котором заполнение формы расплавом и его затвердевание происходят в поле действия центробежных сил. Литейная форма во время заливки вращается относительно горизонтальной (для длинных отливок, например труб) или вертикальной оси (рис. 2.18). Заливаемый металл центробежными силами отбрасывается на периферию формы, что позволяет получать полые отливки

без применения стержней. Более плотный холодный металл отбрасывается к периферии, менее плотный горячий вытесняется к оси, что приводит к направленному затвердеванию, то есть получению плотной, без раковин отливки. Формы приводятся во вращение машинами, называемыми центробежными.

Наиболее распространен способ литья во вращающиеся металлические формы с горизонтальной осью вращения. По этому способу (рис. 2.18, *a*) отливка формируется со свободной поверхностью в поле центробежных сил, а формообразующей поверхностью служит внутренняя поверхность изложницы. Расплав из ковша 4 заливает во вращающуюся форму 1 через заливочный желоб 3. Расплав растекается по внутренней поверхности формы, образуя под действием центробежных сил пустотелый цилиндр. После затвердевания металла и остановки вращения отливка извлекается из формы.

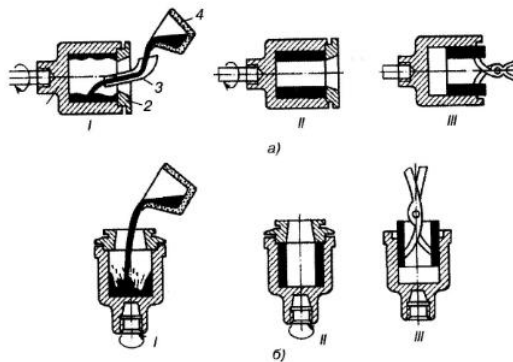


Рис. 2.18. Схемы центробежного литья с горизонтальной (*a*) и вертикальной (*б*) осями вращения: *I* - заливка расплава во вращающуюся форму; *II* - формообразование отливки; *III* - извлечение отливки из изложницы; *I* - изложница; 2 - крышка; 3 - желоб; 4 - ковш

При получении отливок в форме с вертикальной осью вращения (рис.2.18, *б*) расплав из ковша заливает в форму, укрепленную на шпинделе, приводимом во вращение электродвигателем. Расплав под действием центробежных сил отбрасывается к стенкам формы и затвердевает. После затвердевания расплава машину останавливают и извлекают отливку.

При центробежном литье обычно используют металлические формы, которые предварительно подогревают, после чего на рабочую поверхность наносят покрытие. Применение покрытий повышает стойкость форм, снижает скорость охлаждения отливок, что весьма важно для борьбы с отбелом в чугунных отливках, и уменьшает вероятность образования в отливках спаев и трещин. В качестве покрытий используют краски или облицовки из сыпучих материалов. Скорость вращения формы оказывает большое влияние на затвердевание и охлаждение отливки, а также на формирование в ней специфических дефектов - спаев, трещин и ликвации.

Центробежное литье обеспечивает получение плотных отливок с дисперсной структурой и облегчает выход на свободную поверхность шлаковых и газовых включений. Перемешивание металла в процессе литья препятствует направленному росту кристаллов, способствуя образованию мелкой и плотной структуры в отливке.

Вместе с тем центробежные силы оказывают и отрицательное влияние на формирование качественной отливки. Они приводят к химической неоднородности (ликвации) при производстве отливок из высоколегированных сплавов. В чугунных отливках наблюдается ликвация углерода, серы и фосфора и велика вероятность «отбела» в связи с тем, что центробежные силы препятствуют усадке отливки и образованию зазора между ней и формой, в результате чего тепло-отвод от отливки ускоряется.

Технологические возможности центробежного литья:

масса отливки (отливки типа тел вращения) 0,5...500 кг (максимальная - 45 т);

максимальный габаритный размер отливки - 8000 мм (длина), 1000 мм (диаметр);

толщина стенки отливки 3...200 мм;

коэффициент использования металла - до 0,9;

экономически оправданная серийность - 100 шт.

Обрубка литья. Обрубка заключается в отделении от отливок элементов литниковой системы (литников, прибылей, выпоров), удалении заливок по разъему формы и неровностей поверхности.

Способ обрубки определяется с учетом вязкости сплава, из которого изготовлена отливка, массы отливки и серийности производства.

Отделение литников от отливок из чугуна и стали массой до 100 кг может производиться в галтовочных барабанах, недостатком способа является достаточно сильный шум и наличие на поверхностях отливок следов соударения. Сильный шум сопровождается также отрезку литниковых систем дисковыми пилами трения, когда вращающийся с большой скоростью тонкий стальной диск теплотой, возникающей за счет трения, плавит металл и выносит его из реза.

Для отличающихся хрупкостью серого и белого чугунов удаление литников не представляет трудности и производится ударом по литнику молотком. В отдельных случаях могут быть использованы пневматические зубила, а для массового производства - отламывание на прессах.

Литниковые системы и прибыли от стальных отливок отделяют с использованием ацетилено-кислородной *резки*. Большинство сплавов цветных металлов отличается вязкостью, что исключает применение ударов из-за возможного коробления отливок. В этом случае широко используются ленточные пилы.

Очистка отливок заключается в удалении с их поверхности пригара и улучшении чистоты поверхности. Очистку можно производить галтовкой, дробеметной, вибрационной и электрохимической обработкой, а зачистку - абразивными кругами и электроконтактным методом. Выбор оборудования для очистки зависит от размеров отливок и характера производства.

Зачистка поверхностей отливок применяется в массовом производстве и, как правило, используется в качестве одной из операций совместно с другими операциями очистки, например дробеметной. Она выполняется абразивными кругами, между которыми пропускается установленная на приспособлении отливка.

Контроль качества отливок осуществляют с целью обнаружения дефектов, разработки мер по их предотвращению и устранению. В литейных цехах применяют предварительный и исполнительный методы контроля качества отливок.

Предварительный контроль включает в себя проверку свойств шихтовых и формовочных материалов, формовочных и стержневых смесей, качества изготовленной модельной и литейной технологической оснастки и отдельных стадий процесса получения отливок (изготовления форм и стержней, сборки форм и подготовки их к заливке и т.д.).

Исполнительный контроль заключается в приемке полученных отливок. С учетом требований технических условий на получаемую продукцию отливки сортируют на группы: годные; дефектные, подлежащие исправлению; окончательный брак, направляемый на переплаву.

Дефекты отливок подразделяют на наружные (газовые и песчаные раковины, заливы, перекося, пригар, несоответствие размеров и конфигурации отливки и др.) и внутренние (усадочные и газовые раковины, горячие и холодные трещины и др.).

Для определения качества отливок применяют следующие методы контроля: визуальный, при котором все отливки подвергают осмотру невооруженным глазом или с помощью лупы; магнитный, люминесцентный или цветной для выявления на поверхности отливок мелких трещин и раковин; магнитный, ультразвуковой и радио-графический (рентгено- и гаммаграфия) для выявления внутренних дефектов в отливках. С помощью этих методов, не разрушая изделия, выявляют размеры дефекта и глубину его расположения от поверхности отливки. Процессы дефектоскопии в массовом производстве автоматизированы.

Газовые раковины - пузыри воздуха или газов, которые остались в теле отливки после заливки литейной формы расплавом.

Газовые раковины образуются из-за недостаточной газопроницаемости, повышенной влажности или переуплотнения формовочной смеси при ее набивке и др. Возникновение в отливках газовых раковин предупреждают равномерным уплотнением смеси, искусственной вентиляцией формы через каналы, выводом газов из стержней и др.

Песчаные раковины - чаще всего открытые различной формы пустоты в теле отливки, частично или целиком заполненные формовочной смесью. Такие дефекты образуются вследствие обвалов частей формы из-за недостаточной прочности формо-

вочной смеси, смыва частей формы струей заливаемого расплава, в результате небрежной сборки форм и по другим причинам. Образование песчаных раковин предупреждают дополнительным укреплением свисающих и выступающих частей формы с помощью железных крючков, шпилек, а также плавным подводам металла в форму

Заливы - тонкие, различные по величине и форме выступы на отливке. Такие дефекты чаще всего образуются по разьему формы и вдоль стержневых знаков. Причинами образования заливов являются недостаточная нагрузка формы, наличие зазоров между знаками стержней и контурами полости формы и т.д. Образование заливов предупреждают надежным креплением полуформ при подготовке к заливке, очисткой плоскости разьема от мусора и формовочной смеси во время сборки формы.

Несоответствие размеров и конфигурации отливки чертежам возникает из-за перекоса половин формы или стержня, в результате применения моделей неправильных размеров и т.д. Перекос вызывает смещение одной части отливки относительно другой и получается главным образом при неправильном центрировании опок. Перекос стержня вызывает разностенность отливки и образуется вследствие неправильной установки или недостаточно прочного его крепления в форме.

Пригар - дефект в виде трудноотделяемого слоя на поверхности отливки, образовавшегося вследствие физико-химического взаимодействия формовочного материала с расплавом и его оксидами в процессе литья. Пригар образуется из-за недостаточной огнеупорности формовочной смеси, наличия в ней посторонних примесей, плохого качества литейных красок. Предупредить образование пригара можно применением облицовочных смесей с повышенной огнеупорностью, покрытием рабочей поверхности формы припылами (графит, тальк, пылевидный кварц и др.).

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

Несоответствие химического состава полученной отливки заданному даже при отсутствии наружных и внутренних дефектов является неисправимым браком. Такие отливки подлежат отбраковке и дальнейшему переплаву

Отливки, имеющие допустимые дефекты и не подлежащие отбраковке, подвергаются дополнительным *операциям по исправлению*. Основными из них являются: заделка поверхности замазками или мастиками; пропитка различными составами; газовая и электрическая заварка.

Заделка дефектов замазками или мастиками - декоративное исправление мелких поверхностных раковин отливок. Она производится перед покраской отливок для придания им товарного вида. Перед заполнением мастикой дефектные места очищают от грязи и обезжиривают. После заполнения раковин мастикой исправленное место заглаживают, подсушивают и затирают. Пропитывание составами устраняет пористость в отливках, работающих под давлением жидкостей и газов. С этой целью имеющие незначительную течь отливки погружают на 8-12 ч в водный раствор хлористого аммония (нашатыря). Проникая в промежутки между зёрнами металла, раствор образует окислы, которые закупоривают поры отливки. Для устранения течи в отливках из цветных сплавов их пропитывают бакелитовым лаком.

Заварку применяют для исправления мелких дефектов на необрабатываемых поверхностях отливок (раковины, отверстия, трещины), а чаще - для исправления дефектов в местах отливок, испытывающих большую рабочую нагрузку. Для получения качественной заварки применяют присадочный материал, который по своим свойствам не отличается от свойств металла отливки.

При заварке дефектное место нагревают и затем расплавляют в нем пруток присадочного материала пламенем кислородно-ацетиленовой горелки (газовая сварка) или с помощью сварочного аппарата (электрическая сварка). для предупреждения появления трещин в отливках их нагревают до 350...600 °С и после заварки медленно охлаждают до комнатной температуры. Для улучшения обрабатываемости отливки подвергают термической обработке - отжигу.

2.3. Производство отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов

Чугун плавят в вагранках, электрических (дуговых и индукционных) и пламенных печах. Плавильные печи должны обеспечивать получение металла требуемого химического состава, малый угар, низкий удельный расход топлива и электроэнергии, заданную температуру, минимальное насыщение металла вредными примесями и газами. Литейные печи должны быть приспособлены к режиму работы цеха и иметь необходимую производительность.

Для расплавления и перегрева *чугуна* в литейных цехах широко применяются вагранки - это шахтные печи непрерывной плавки, выложенные внутри металлического кожуха огнеупорным шамотным кирпичом. Они просты по устройству и обслуживанию, требуют небольшого расхода топлива и имеют производительность 500...25000 кг/ч жидкого чугуна. В вагранке во время плавки можно менять шихту и получать чугун заданного химического состава с температурой на желобе до 1450°C.

Схема вагранки приведена на рис. 2.19. В подовой плите 2 имеется отверстие, которое во время плавки закрыто крышкой. По окончании плавки крышку открывают и через отверстие удаляют остатки кокса, шлак и др. Кожух изнутри футеруют чаще всего шамотным кирпичом или шамотной набивной массой. После окончания ремонта и закрытия крышки специальной массой набивается под, имеющий уклон к лётке для выпуска жидкого чугуна и шлака в копильник 6 или в желоб, если вагранка без копильника. Верхняя поверхность пода называется лещадью.

Воздух для горения кокса подается от воздуходувки в фурменный коллектор 5, а из него - в формы, расположенные на определенном расстоянии от пода. Над уровнем фурм находится шахта вагранки 4. Продолжением шахты является труба вагранки, заканчивающаяся искрогасителем, назначение которого - улавливание мельчайших твердых частиц, уносимых отходящими газами. Следует отметить, что вагранки последних конструкции выполнены закрытыми (с отсосом отходящих газов в специальные очистные устройства).

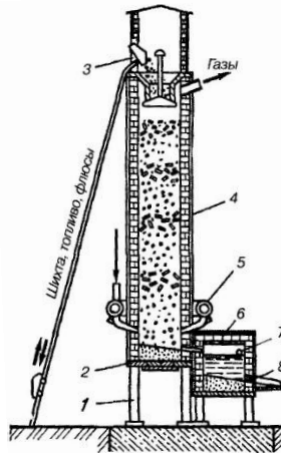


Рис. 2.19. Схема вагранки с копильником: 1 - основание (колонны); 2 - лещадь (подовая плита); 3 - загрузочное окно; 4 - шахта; 5 - воздушный коллектор; 6 - копильник; 7 - отверстие для выпуска шлака; 8 - лётка для выпуска чугуна

Вагранка может быть без копильника или иметь копильник 6, в который непрерывно стекает жидкий чугун, а из копильника его через лётку 8 периодически выливают в разливочные ковши. Шлак также непрерывно стекает в копильник и периодически выпускается через лётку 7.

Шихту загружают в вагранку через окно 3 бадьей с помощью загрузочных кранов или скиповых подъемников определенными порциями - колошами.

Построенную или отремонтированную вагранку в начале эксплуатации хорошо просушивают форсунками или газовыми горелками. Затем в горн в несколько приемов насыпают кокс выше фурм на 700...800 мм и включают слабое дутье, в результате чего кокс разогревается. Слой кокса, загруженный на лещадь вагранки перед началом плавки, называют холостой колошей. Она служит для поддержки засыпанных на нее впоследствии рабочих колош и разогрева вагранки. Верхняя часть холостой колоши находится в плавильном поясе вагранки. Здесь развивается максимальная температура и происходит расплавление металлической части шихты. Высота холостой колоши влияет

на температуру, скорость плавления и химический состав выпускаемого чугуна.

После разогрева холостой колоши в вагранку загружают первый слой металлической шихты, состоящей из чушкового чугуна и металлического лома. Масса металлической колоши равна примерно 10...15 % часовой производительности вагранки. На эту колошу загружают известняк в количестве около 5 % всей металлозавалки. Известняк при нагревании в вагранке разлагается на известь CaO и диоксид углерода CO_2 . Известь, являясь флюсом, нейтрализует (связывает) кремнезем, который вносится в вагранку с золой кокса и песком или образуется при окислении кремния, а CO_2 входит в состав отходящих газов. Вследствие взаимодействия кремнезема и извести понижается температура плавления шлака и увеличивается его жидкотекучесть.

Затем в вагранку подают первую рабочую колошу кокса, составляющую 8...12 % массы металлической колоши. Рабочая колоша опускается по мере сгорания кокса холостой колоши и расплавления находящихся под ней материалов.

Шихту поочередно загружают в вагранку до завалочного окна и в процессе работы вагранки шихта поддерживается на этом уровне.

Вагранку можно разделить на несколько зон в зависимости от развивающихся в этих зонах температур и протекающих процессов. В верхней части вагранки твердая шихта нагревается, влага и летучие вещества выделяются из топлива, известняк частично разлагается на CaO и CO_2 . При соприкосновении с холодной шихтой газы в верхней части шахты несколько охлаждаются, но химический состав их изменяется незначительно.

Плавление металлической шихты происходит в плавильной зоне вагранки, расположенной в верхней части холостой колоши. Здесь образуется жидкий металл, который стекает на лещадь вагранки. По пути жидкий металл проходит через слой раскаленного кокса, в результате чего он науглероживается, образуя чугун. Вблизи фурм, где имеется свободный кислород воздуха, наблюдается частичное окисление жидкого металла. Из него выгорает некоторое количество железа, марганца и кремния, оксиды которых переходят в шлак, стекающий в горн.

В горне вагранки процесс окисления металла прекращается, так как сюда не проникает подаваемое дутье. При этом жидкий металл несколько охлаждается и может дополнительно насыщаться углеродом и серой.

В вагранках с копильником сокращается продолжительность соприкосновения чугуна с раскаленным коксом, в результате получается чугун с меньшим содержанием углерода и серы, однако жидкий чугун немного охлаждается, что не всегда желательно.

Повышения температуры жидкого чугуна, производительности вагранки и снижения расхода топлива можно достигнуть подогревом воздушного дутья и обогащением его кислородом. Подогрев дутья в современных вагранках осуществляется за счет использования физической теплоты отходящих газов и теплоты реакции горения оксида углерода. Температура дутья достигает 400...500 °С.

Для экономии кокса применяют коксогазовые вагранки, в которых 56 % кокса заменяют природным газом. В них при подогретом дутье можно получить чугун, перегретый до 1450...1500 °С. Самый дешевый чугун дают газовые вагранки[2,14].

При плавке с кислородным дутьем увеличивается производительность вагранки, повышается температура выпускаемого чугуна на 80...100 °С и снижается расход кокса до 30...50 %.

Плавка чугуна в индукционных печах. В литейном производстве для плавки чугуна применяют индукционные печи промышленной частоты. Их преимущество - возможность получения чугуна точного химического состава, низкий угар элементов, высокий перегрев расплава, возможность использования в шихте большого количества стальных отходов и стружки. Недостаток индукционных тигельных печей - малая скорость плавления твердой завадки. Поэтому для повышения производительности и снижения расхода электроэнергии плавку, как правило, ведут на «болоте», т.е. при выпуске сливают более половины расплава. Затем в жидкую ванну загружают твердую шихту, расплавляют, и цикл повторяется.

Тигли в основном изготавливают из кислой сухой набивной массы, содержащей молотые кварциты. Для спекания массы до-

бавляют 1,5...2 % связующего - борной кислоты. Обычно тигель выдерживает 100...300 плавков.

При индукционной плавке вследствие активного перемешивания расплава взаимодействие жидкого чугуна со шлаком, футеровкой и газовой фазой происходит весьма интенсивно.

Одним из наиболее важных этапов плавки, особенно при получении синтетического чугуна на базе шихты из стальных отходов, является процесс науглероживания. Хорошие результаты по степени усвоения в жидком металле (90...95 %) обеспечивает гранулированный графит или электродный порошок, причем 70 % карбюризатора загружают вместе с шихтой и 30% - в жидкий чугун после расплавления.

В литейном производстве для плавки чугуна применяют индукционные печи без сердечника и с сердечником. Наибольшее распространение получили индукционные печи без сердечника. Для подогрева чугуна применяют индукционные каналные печи с сердечником. Индукционные печи вместимостью 40, 60 и более тонн используют в дуплекс-процессе с вагранкой.

Подготовка печи к плавке. Футеровка печей набивная и обычно кислая. Исходные материалы для набивки футеровки: ~48 % (по объему) кварца (с величиной зерна 15...5 мм и содержанием не менее 95 % SiO_2 и минимальным содержанием Al_2O_3 и Fe_2O_3); ~50 % молотого кварца КП-3 (с величиной зерна не более 1,55 мм) и ~2 % борной кислоты. Кварц сушат при 150...250 °С и просеивают через сито. Молотый кварц и борная кислота должны быть сухими. Футеровочную массу готовят в сухом состоянии в смесителе, а затем просеивают. Смесь необходимо быстрее использовать для набивки, так как борная кислота поглощает влагу. После набивки футеровку сушат.

Недостаток набивной футеровки - большая трудоемкость изготовления. Для футеровки индукционных печей большой вместимости применяют огнеупорный кирпич.

Загрузка. Шихту в тигель загружают осторожно, без ударов и возможно плотнее. Размеры кусков шихты должны обеспечивать хорошую плотность загрузки. Этим достигается быстрое расплавление металла и минимальный расход электроэнергии. Зона наивысшей температуры во время плавки находится в нижней части тигля, поэтому тугоплавкие ферросплавы загру-

жают на дно тигля. В печи небольшой вместимости шихту загружают вручную, большой - бадьей.

Плавка. В начале плавки - 5...10 мин печь работает на пониженной - мощности до прекращения скачков тока генератора, затем мощность доводят до максимальной. Плавку ведут при закрытом тигле. Когда шихта частично расплавится, твердые куски осаживают ломиком, предварительно выключив печь, затем печь догружают оставшейся мелкой шихтой. Стальной лом присаживают обычно в жидкую ванну, ферросплавы - в хорошо разогретую ванну до 1430...1450 °С. Для науглероживания чугуна на под печи вводят крупный электродный бой (1...2 %) и мелкий бой на зеркало металла после скачивания шлака. Шлак скачивают при выключенном токе. В индукционных печах промышленной частоты при разливке сливают не весь расплав, а ~2/3 его, оставляя в печи - «болото», в которое загружается шихта. Это позволяет ускорить процесс плавки.

В настоящее время для плавки чугуна используют и индукционные печи средней частоты (до 1000 Гц), в этом случае из печи сливают весь расплав чугуна, не оставляя «болото».

Плавка чугуна в дуговых электрических печах. Для плавки чугуна применяют дуговые печи переменного тока, которые используются и для плавки стали.

В последние годы находят все большее применение дуговые плавильные печи постоянного тока (ДППТ). Схема одной из таких печей приведена на рис. 2.20. ДППТ состоит из частей и механизмов, применяемых в дуговой печи переменного тока с одинаковой с ней вместимостью: стального футерованного кожуха; свода, который может быть водоохлаждаемым; стен печи, которые могут быть выполнены также из водоохлаждаемых панелей; механизма наклона печи для слива металла и удаления шлака, механизма перемещения графитированного электрода; механизма подъема и поворота свода или выката ванны для заправки печи шихтой; рабочего окна с дверцей. Отличительной особенностью этих печей от дуговых печей переменного тока является наличие только одного верхнего графитированного электрода (катода), расположенного вдоль вертикальной оси печи, и одного или двух подовых электродов (анодов) в подине печи.

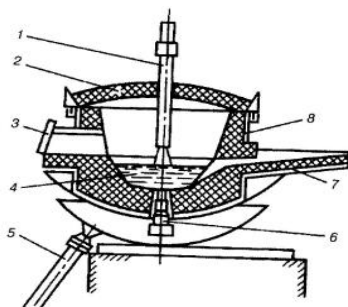


Рис. 2.20. Принципиальная схема электрической дуговой печи постоянного тока: 1 - верхний электрод; 2 - съемный свод; 3 - рабочее окно; 4 - расплав стали; 5 - механизм наклона печи; 6 - нижний электрод; 7 - желоб для выпуска стали; 8 - корпус печи

Подовые электроды, размещаемые в подине печи, являются одними из основных ее элементов. Они предназначены не только для подвода тока к шихте и расплаву, но и для перемешивания расплава, обеспечивая работу печи с полным сливом расплава.

Подовый электрод представляет собой стальную трубу, которая внутри заполнена медью методом электрошлакового переплава.

Нижний торец подового электрода соединяется с токоподводом, выше которого расположены каналы охлаждения. Подовый электрод устанавливается таким образом, чтобы каналы охлаждения были вне кожуха печи, а его основная часть располагалась в нижней трети футеровки подины. К боковой поверхности стальной трубы приварены стальные листы, соединяющие подовый электрод с расплавом.

Процесс плавки в ДППТ можно разделить на три периода.

Период *I* - подготовительный. Его проводят на высоком напряжении и небольшом токе дуги. Режим дуги позволяет вести расплавление шихты без привязки анодного пятна на расплав. Длина дуги обеспечивает стабильный электрический режим, интенсивный нагрев печных газов, плавный нагрев всего объема шихты.

Период *II* - энергетический. При его выполнении обеспечивается стабильный электрический режим при колебании мощно-

сти $\pm 5\%$, что способствует быстрому расплавлению шихты и не приводит к заметному локальному перегреву металла. Ток дуги в этот период удваивают, а напряжение в 2 раза снижают. В начале периода *II* анодное пятно дуги располагается на расплаве. Основная мощность дуги излучением и конвекцией печных газов передается в нерасплавленную шихту и через анодное пятно - в расплав. Перегрев расплава под дугой в периодах *I* и *III* предотвращается соответствующим размещением подовых электродов, формирующим тороидальное вращение расплава в вертикальной плоскости, при котором поток металла с большой скоростью подтекает под дугу и уходит в глубь расплава. В этих условиях температурное поле расплава выравнивается из-за интенсивной конвективной теплопередачи через расплав, а высокая скорость движения металла под дугой не допускает его локального перегрева.

Период *III* - технологический. Его проводят на короткой дуге. При этом напряжение на дуге в 4 раза меньше, чем в *I* периоде, а сила тока в 4 раза больше. При этом происходит доплавление шихты, нагрев расплава, рафинирование и перемешивание расплава и шлака. Во всех периодах плавки имеет место минимальный угар металла.

В ДППТ освоено производство различных марок чугуна, в том числе выплавляемых в других печах.

Плавильные электропечи - индукционные (промышленной и средней частоты) и дуговые (работающие на переменном и постоянном токе) - позволяют выплавлять чугун повышенного качества, улучшить технико-экономические и санитарно-гигиенические показатели.

Чугунные отливки изготавливают практически всеми видами литья: в песчаные, оболочковые и металлические формы; центробежным способом.

Литейные стали имеют более низкие литейные свойства, чем чугуны, в том числе: большую объемную усадку в жидком состоянии и при кристаллизации (необходимо устанавливать прибыли на отливках); повышенную линейную усадку, а следовательно, и повышенную склонность к образованию горячих и холодных трещин; низкую жидкотекучесть, что вызывает необ-

ходимость использовать разветвленную литниковую систему; повышенную склонность к образованию пригара на отливках.

Для плавки стали используют электродуговые печи переменного и постоянного тока, а также индукционные печи (последние - высокой частоты - 2500 Гц). Шихта обычно состоит из стального и чугунного лома, отходов собственного производства, чушкового чугуна, флюсов и ферросплавов.

Для плавки специальных сталей иногда используют вакуумные дуговые и электрические печи.

Отливки из сталей изготавливают литьем в песчаные формы, литьем по выплавляемым моделям (массой до 50 кг и с толщиной стенки не более 10 мм), литьем в металлические формы (массой до 150 кг), литьем в оболочковые формы, центробежным литьем. Как правило, все стальные отливки подвергают термообработке - предварительной (отжигу для снятия напряжений и выравнивания структуры) и окончательной (нормализации или закалке с отпуском).

Наиболее распространенные литейные сплавы - силумины (сплавы систем Al-Si-Mg и Al-Si-Cu). Они имеют хорошую жидкотекучесть и небольшую усадку, поэтому изготовление из них отливок не вызывает особых затруднений. Большинство остальных алюминиевых сплавов имеют низкую жидкотекучесть и несколько большую усадку, повышенную склонность к газонасыщению.

Для плавки алюминиевых сплавов используют печи сопротивления и индукционные печи. Для защиты расплава от окисления и газонасыщения плавку ведут под слоем флюса, состоящего чаще всего из хлористых солей натрия и калия. Перед разливкой алюминиевый расплав дегазируют (продувают аргоном или другими инертными газами), рафинируют (обрабатывают солями для очистки расплава от оксидов и других неметаллических включений) и модифицируют (при необходимости) для измельчения структуры.

Отливки из алюминиевых сплавов изготавливают всеми рассмотренными выше способами литья, но чаще всего используют литье в кокиль, литье под давлением (для отливок с толщиной стенки до 6 мм и массой до 50 кг), литье в песчаные формы, литье с кристаллизацией под давлением. Для повышения их каче-

ства применяют фильтрацию расплава через сетчатые фильтры в литниковой системе (для удаления неметаллических включений), расширяющиеся литниковые системы (для плавного заполнения литейной формы и уменьшения окисления расплава) и т. д.

Магниевые сплавы имеют малую плотность и высокую удельную прочность. Они легко окисляются, сильно растворяют водород и склонны к самовозгоранию, что необходимо учитывать как при плавке, так и при заливке.

Магниевые сплавы плавят в тигельных электрических печах сопротивления и индукционных печах под слоем хлористых флюсов или в среде защитных газов. Для измельчения структуры их модифицируют углеродосодержащими добавками (мел, мрамор). Для предотвращения возгорания сплава при заливке форм струю расплава припыливают порошком серы, связывающей кислород воздуха. Магниевые сплавы имеют низкие литейные свойства - пониженную жидкотекучесть, повышенную склонность к образованию усадочной пористости и горячих трещин. Для предупреждения образования усадочной пористости в отливках широко используют наружные металлические холодильники и прибыли, для хорошего заполнения формы - плавный подвод расплава через расширяющиеся литниковые системы, а для предупреждения возгорания сплава в полости литейной формы в формовочные смеси добавляют серу и гидроксид бора (борную кислоту). Расплав при заливке фильтруют от неметаллических включений. Отливки изготавливают литьем в песчаные формы, литьем в кокиль и под давлением.

Оловянные бронзы имеют хорошую жидкотекучесть, повышенную склонность к образованию усадочной пористости (предупреждать ее образование в отливках необходимо разумным сочетанием наружных металлических холодильников и прибылей, применением рациональной литниковой системы) и обратной ликвации (главным образом олова). Безоловянные бронзы также обладают хорошей жидкотекучестью, но имеют большую объемную усадку и склонность к образованию усадочных раковин в отливках (надо использовать прибыли). Литейные латуни (сплавы меди с цинком) имеют удовлетворительную жидкотекучесть, склонны к образованию как усадочных

раковин, так и усадочной пористости в отливках. Все медные сплавы склонны к образованию трещин.

Медные сплавы плавят в индукционных канальных низкочастотных дуговых печах (с горизонтальным расположением электродов под слоем древесного угля, в среде защитных газов или в вакууме. Отливки изготавливают литьем в песчаные формы, литьем в оболочковые формы, литьем в металлические формы, литьем с кристаллизацией под давлением, реже - центробежным литьем (кроме оловянных бронз) и литьем под давлением.

2.4. Техничко-экономические показатели литейного производства

Производство литых заготовок является составной частью технологии изготовления продукции машиностроения. Литые детали в общем объеме машин составляют около 60 % массы машин, а при изготовлении двигателей внутреннего сгорания, компрессоров, насосов, редукторов достигают 80-85 % их массы. Затраты труда на изготовление отливок равны 20-25 % общей трудоемкости изготовления машины. Основная масса отливок – до 75 % - производится литьем в ПГФ. Около 25 % отливок производится специальными способами литья, в том числе почти 14 % - литьем в кокиль, 8 % - центробежным способом, 2 % - под давлением и менее 0,7 % - по выплавляемым моделям [3, 6, 10].

Литые заготовки имеют ряд достоинств. Например, отходы металла в стружку при обработке отливок примерно в два раза меньше, чем при изготовлении деталей из сортового проката, применение специальных способов литья позволяет существенно увеличить эту разницу. Кроме того, затраты условного топлива на изготовление 1 т литых деталей равны 400-600 кг, на 1 т сварных деталей из проката – 1000 кг и на 1 т изделий из стальных кованных заготовок – 1800 кг.

Экономичность технологического процесса изготовления отливок зависит от многих факторов: сложности конфигурации отливки, ее массы и размеров, состава литейного сплава, характера производства (единичное, серийное, массовое), способа литья и т.д.

Важными факторами, влияющими на технико-экономические показатели литейного цеха, являются также трудоемкость, величина припусков на механическую обработку, себестоимость обработки отливки в механическом цехе, технологичность конструкции отливки.

Важным является выбор литейного сплава для отливки.

Чугун обладает хорошими технологическими свойствами, отливки из него дешевле. Выход годного при изготовлении сложных отливок из чугуна составляет 50...60%, простых – 75...80 %. Коэффициентом выхода годного (или выходом годного) называется отношение массы отливки ($M_{от}$) к массе затраченного на нее расплава (M_p)(жидкого сплава): $K = M_{от} / M_p$.

Коэффициент использования металла - это отношение массы детали (M_d) к массе отливки ($M_{от}$): $K_{им} = M_d / M_{от}$.

Отливки из стали более дорогие, так как на плавку требуются большие энергозатраты, повышается расход свежих формовочных материалов, увеличивается расход стали на литниковопитающую систему. Выход годного (отношение массы отливки к массе расплава, затраченного на ее изготовление) составляет 35...75%.

Сплавы цветных металлов являются дорогими. Поэтому алюминиевые и магниевые сплавы применяют в тех случаях, когда литая деталь должна иметь малую массу, определенную теплопроводность и коррозионную стойкость. Медные сплавы обладают рядом ценных свойств - высокой теплопроводностью, электропроводностью, коррозионной стойкостью, низким коэффициентом трения; их применяют в специальных узлах машин (часто в качестве подшипников скольжения).

При оценке эффективности изготовления отливок необходимо учитывать и стоимость материалов, применяемых для изготовления форм и стержней.

Себестоимость отливок зависит также от способа изготовления. Многие специальные способы литья позволяют повысить точность отливок, уменьшить припуски на механическую обработку, повысив тем самым коэффициент использования металла, повысить производительность труда за счет механизации и автоматизации трудоемких технологических операций. Однако окончательное решение о целесообразности изготовления от-

ливки тем или иным способом может быть принято только после подробного расчета технико-экономических показателей эффективности с учетом особенностей номенклатуры отливок и условий производства.

При увеличении серийности выпуска (объема производства) трудоемкость изготовления и себестоимость отливок уменьшаются.

Тестовые задания

12. Большая часть отливок изготавливается в формах:

- а) оболочковых;
- б) металлических;
- в) песчано-глинистых;
- г) центробежных;
- д) по выплавляемым моделям.

13. Укажите очередность операций технологического процесса изготовления отливок:

- а) выбивка;
- б) очистка;
- в) заливка;
- г) плавка;
- д) формовка.

14. Укажите последовательность технологических операций при изготовлении отливок в песчаных формах:

- а) изготовление модельного комплекта;
- б) расплавление металла;
- в) заливка металла;
- г) изготовление формовочных и стержневых смесей;
- д) охлаждение;
- е) изготовление верхней и нижней полуформ;
- ж) сборка полуформ;
- з) выбивка.

15. Для изготовления литейных форм применяют:

- а) прессовые машины;
- б) встряхивающие машины;
- в) встряхивающие с подпрессовкой машины;
- г) очистные машины;

- д) дробомерные машины;
- е) пескометы.

16. Основной оснасткой для получения отливок в песчано-глинистых формах является:

- а) пресс-форма;
- б) модель;**
- в) толкатель;
- г) выбивная решетка;
- д) кокиль;
- е) стержневой ящик;**
- ж) опока.**

17. Для образования в литейной форме каналов для подвода жидкого металла служат:

- а) выпоры;
- б) прибыли;
- в) элементы литниковой системы;**
- г) жеребейки;
- е) холодильники.

18. Для песчано-глинистых форм используют модели:

- а) деревянные;**
- б) графитовые;
- в) металлические.**
- г) парафиностеариновые.

19. После затвердевания и охлаждения отливки песчано-глинистую форму:

- а) извлекают;
- б) упрочняют;
- в) разрушают;**
- г) ремонтируют;
- д) очищают.

20. Применение формовочных машин по сравнению с ручной формовкой позволяет:

- а) избежать применения стержней;
- б) увеличить производительность;**
- в) повысить точность отливок;**
- г) снизить себестоимость отливок;**
- д) увеличить качество отливок;**
- е) уменьшить усадку отливок;

ж) увеличит жидкотекучесть сплава.

21. Очистку отливок проводят в:

- а) в ковшах;
- б) в стержневых ящиках;
- в) в галтовочных барабанах и дробеметных установках;
- д) в вагранках.

22. Сборка литейных форм включает в себя:

- а) проверку жидкотекучести сплава;
- б) изготовление верхней и нижней полуформ;
- в) установку стержней;
- г) накрывание нижней полуформы верхней;
- д) скрепление полуформ перед заливкой;
- е) изготовление стержней.

23. Металлические формы могут иметь конструкцию:

- а) разъемную;
- б) единую;
- в) вытряхную;
- г) пескодувную;
- д) пескострельную.

24. Литье под давлением по сравнению с другими способами литья имеет следующие преимущества:

- а) возможность получения мелких сложных отливок;
- б) высокая плотность отливок;
- в) высокое качество поверхности отливок;
- г) точные геометрические размеры отливок;
- д) отсутствие литников;
- е) отпадает необходимость в последующей механической обработке отливок.

25. При центробежном литье внутреннее отверстие в отливке получают с помощью:

- а) стержня;
- б) модели;
- в) центробежного штыря;
- г) зумпфа;
- д) нет правильного ответа.

26. Отливки, получаемые на центробежных машинах, имеют:

- а) рыхлость;

- б) усадочную пористость;
- в) большую плотность;
- г) мелкозернистую структуру;
- д) высокую прочность.

27. Плавку чугуна в литейных цехах осуществляют в электропечах и:

- а) в домнах;
- б) в конвертерах;
- в) в мартеновских печах;
- г) в отражательных печах;
- д) в вагранках.

28. Перед разливкой в форму алюминиевые сплавы подвергают:

- а) легированию;
- б) термической обработке;
- в) обработке токами высокой частоты;
- г) обработке ультразвуком;
- д) рафинированию.

29. Перечислите свойства сплавов, относящиеся к литейным:

- а) прочность;
- б) жидкотекучесть;
- в) твердость;
- г) усадка объемная и линейная;
- д) трещиностойкость;
- е) газонасыщенность;
- ж) ликвация;
- з) относительное удлинение.

30. Стали в литейных цехах выплавляют:

- а) в доменных печах;
- б) в вагранках;
- в) в электрических печах;
- г) в термических печах;
- д) в кислородных конвертерах.

31. Серый чугун имеет:

- а) высокую жидкотекучесть, высокую усадку;
- б) низкую жидкотекучесть, низкую усадку;
- в) высокую жидкотекучесть, низкую усадку;

г) низкую жидкотекучесть, высокую усадку.

32. Серый чугун в литейных цехах обычно выплавляют:

а) в доменных печах;

б) в вагранках;

в) в кислородных конвертерах;

г) в мартеновских печах.

33. При заливке во вращающуюся металлическую форму расплав в ней затвердевает под действием сил:

а) тангенциальных;

б) центробежных;

в) центростремительных;

г) нормальных;

д) нет правильного ответа.

3. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

3.1. Основные способы обработки металлов давлением

Обработка металлов давлением (ОМД) — это группа технологических процессов, в результате которых под влиянием внешних сил происходит изменение формы, размеров и физико-механических свойств заготовок без нарушения их сплошности.

Основной задачей ОМД является придание металлу заготовки заданной формы в процессе ее пластической деформации. Способность большинства металлов и их сплавов подвергаться пластической деформации дает возможность широкому применению ОМД. Процесс позволяет изменять структуру металла, а при правильно применяемой технологии — повышать механические свойства получаемых изделий [3, 6].

Обработка давлением возможна только благодаря пластичности металлов (способности изменять форму и размеры без разрушения).

Различные металлы и сплавы обладают неодинаковой природной пластичностью и по-разному ведут себя при обработке давлением. Пластичность металлов и сплавов зависит от химического состава, структуры, температуры нагрева, скорости и степени деформации, схемы напряженного состояния и схемы деформации.

Пластичность литого металла ниже пластичности деформированного, что объясняется разной их структурой: в первом случае металл имеет крупнозернистую структуру, во втором — мелкозернистую. С повышением температуры металла, как правило, пластичность увеличивается, а сопротивление деформации уменьшается.

Нагрев металла при обработке давлением и нагревательные устройства. Нагрев заготовок производится с целью уменьшить сопротивление деформированию. При горячей деформации сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше, чем при холодной. Это позволяет снизить стоимость изготавливаемых изделий. Для каждого металла и сплава температура горячей обработки имеет свой верхний и нижний пределы,

образующие область нагрева, называемую температурным интервалом обработки.

Основанием для правильного выбора температурного режима при обработке давлением является диаграмма состояния сплавов. Для углеродистой стали температурный интервал обработки давлением показан на диаграмме состояния системы Fe-C (рис. 3.1, заштрихованная область).

В процессе горячей обработки давлением происходит образование мелких зерен, уменьшаются или уничтожаются пороки литого металла (например, газовые раковины, пустоты с неокисленными поверхностями завариваются), кристаллы стали вытягиваются и ориентируются в направлении течения металла, создается волокнистая макроструктура, вследствие чего механические свойства стали вдоль волокон становятся выше, чем поперек волокон.

Это свойство используют при изготовлении деталей: заготовку деформируют так, чтобы направление возникающих в детали максимальных напряжений растяжения совпадало с направлением волокон, причем волокна должны огибать контур изделий и не должны пересекать их.

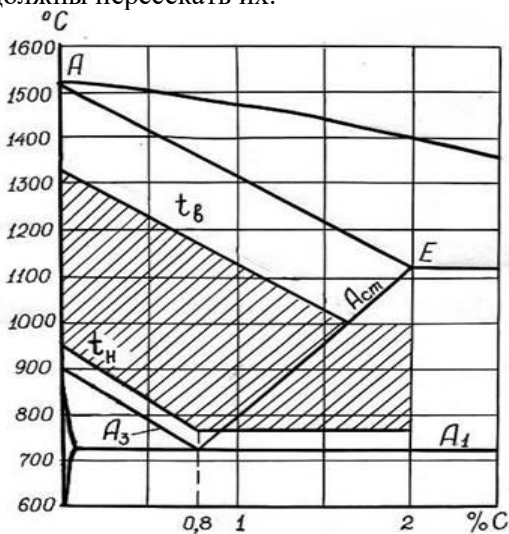


Рис.3.1. Температурный интервал обработки давлением углеродистых сталей

Нагрев заготовок перед обработкой давлением производится для снижения сопротивления деформированию и для повышения пластичности и начинается с их поверхности, в дальнейшем тепло проникает внутрь заготовок за счет их теплопроводности.

Для нагрева используются различные нагревательные устройства.

Нагрев металла для горячей обработки производят в пламенных и электрических печах, с помощью контактных и индукционных нагревателей; в комбинированных печах. По распределению температуры в рабочем пространстве пламенных печей, печи делятся на камерные и методические.

В *камерных* печах температура одинакова на всем рабочем пространстве. Камерные печи различаются размерами рабочего пространства (малые, средние, большие), числу камер (одной или двухкамерные).

В *методических* печах нагрев заготовок осуществляется постепенно (от места загрузки к месту выгрузки заготовок), по заданному режиму.

Пламенные печи работают на природном газе или мазуте. Нагрев в них дешевле по сравнению с электрическим, универсален и требует в 2...3 раза меньше капитальных затрат.

Электрические печи для безокислительного нагрева металлов бывают также камерными и методическими. *Электронагрев*, по сравнению с пламенными, характеризуется более высокой себестоимостью, капитальными вложениями; производительностью труда, возможностью полной автоматизации и сокращения угара металлов; стабильностью процесса нагрева; лучшими условиями труда. Основные виды оборудования для электронагрева – электропечи сопротивления, индукционные нагреватели, установки электроконтактного нагрева, ванны с расплавами солей, стекла, электролитов.

Электропечи сопротивления различаются универсальностью размеров, форм и материалов нагреваемых заготовок, высокой точностью (до ± 5 °С) и равномерностью нагрева, высоким КПД, коэффициентом мощности, просты в эксплуатации, работают контролируемой атмосферой и вакуумом. Основные не-

достатки их: трудность получения более 1200 °С температур, длительность прогрева садок (так как прогрев осуществляется с поверхности); разрушение огнеупорной кладки в результате вибраций из-за работы кузнечного оборудования; необходимость длительного охлаждения для ремонта печи и последующего длительного нагрева. Источником теплоты являются нагреватели различных видов и материалов с повышенным с электрическим сопротивлением (нихром, хромаль, карборунд, дисилицид молибдена, вольфрам, молибден и др.). Для нагрева под ковку и штамповку используют: камерные, карусельные, толкательные, конвейерные и рольганговые печи сопротивления.

Для нагрева стальных слитков перед прокаткой обычно применяют нагревательные колодцы, а для нагрева заготовок — методические и камерные печи.

Способы обработки металлов давлением (рис. 3.2) по производственному назначению подразделяют на два вида [4, 7, 9, 11]:

металлургические, предназначенные для получения заготовок постоянного поперечного сечения (прутков, проволоки, листов и др.), применяемых для изготовления деталей с помощью предварительного пластического формоизменения и обработки резанием; основными металлургическими способами обработки давлением являются прокатка, волочение и прессование;

машиностроительные, предназначенные для получения деталей или заготовок, имеющих форму и размеры, приближенные к форме и размерам деталей; в машиностроении основными способами получения заготовок обработкой давлением являются ковка и штамповка.

Прокатка (рис. 3.2, а) заключается в обжатии заготовки 2 между вращающимися валками 1.

Прессование (рис. 3.2, б) заключается в продавливании толкателем 4 заготовки 2, находящейся во втулке 3, через отверстие матрицы 1.

Волочение (рис. 3.2, в, г) заключается в протягивании заготовки 2 через сужающуюся полость матрицы 1; при этом поперечное сечение заготовки принимает форму поперечного сечения отверстия матрицы.

Штамповкой (рис. 3.2, *д*) изменяют форму и размеры заготовки с помощью специального инструмента — штампа.

Листовой штамповкой получают плоские и пространственные детали из заготовок, у которых толщина значительно меньше размеров в плане (лист, лента, полоса). При листовой штамповке заготовка 3 деформируется с помощью пуансона 1 и матрицы 2.

Ковкой (рис. 3.2, *е*) изменяют форму и размеры заготовки 2 путем последовательного воздействия универсальными инструментами 1 на отдельные участки заготовки.

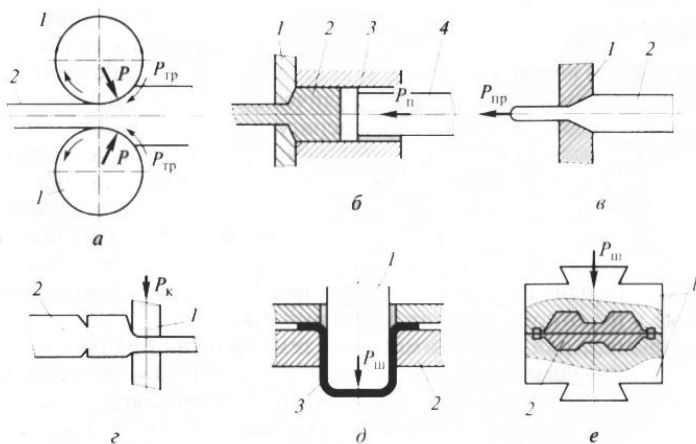


Рис. 3.2. Основные виды обработки металлов давлением:

а — прокатка; *б* — прессование; *в*, *г* — волочение; *д* — листовая штамповка (один из процессов); *е* — ковка; P — усилие прижатия прокатных валков; $P_{тр}$ — усилие трения; $P_{пр}$ — усилие прессования;

$P_{пр}$ — усилие протягивания; $P_{к}$ — усилиековки; $P_{ш}$ — усилие штамповки

При *объемной штамповке* на заготовку, являющуюся отрезком прутка, воздействуют штампом 1, причем металл заготовки заполняет полость штампа, приобретая ее форму и размеры. Различают горячую и холодную объемную штамповку. При объемной штамповке предварительно нагретую заготовку деформируют в замкнутой полости штампа, форма и размеры которой определяют форму и размеры получаемой поковки. Горячая объемная

штамповка производится на молотах, прессах или горизонтально-ковочных машинах.

3.2. Прокатное производство: виды прокатки, продукция

Прокатка представляет собой механическую обработку металлов. Путем обжатия между вращающимися валками прокатного стана в целях уменьшения сечения прокатываемой заготовки из (слитка) и придания заданной формы (профиля).

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

По расположению валков процессы прокатки подразделяют на продольные, поперечные и винтовые (рис. 3.3).

Если поступательная скорость прокатываемой заготовки из металла меньше окружной скорости вследствие ее вращения, прокатка называется также поперечно-винтовой, а если больше-продольно-винтовой.

При поперечной прокатке заготовке из металла придается вращательное движение относительно ее оси и, следовательно, она обрабатывается в поперечном направлении. При винтовой прокатке вследствие косоного расположения валков заготовке, кроме вращательного, придается еще поступательное движение в направлении ее оси. Поперечная прокатка применяется для обработки зубьев шестерен и некоторых других деталей, поперечно-винтовая — в производстве цельнокатаных груб, шаров, осей и других тел вращения.

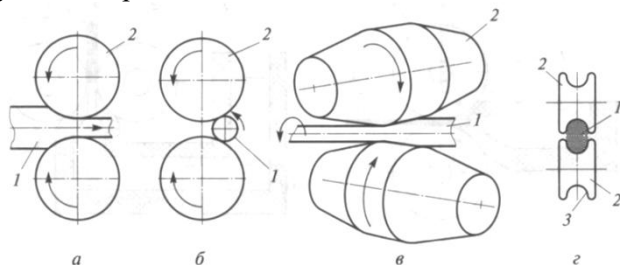


Рис. 3.3. Схемы продольной (а), поперечной (б), винтовой (в) и профильной (г) прокатки: 1 — заготовка; 2 — валки; 3 — профиль валка

Продольно-винтовая прокатка находит применение при производстве сверл.

Наиболее распространенным в практике является процесс продольной прокатки металла между двумя принудительно вращающимися валками (рис.3.3, а).

Прокатка может быть горячей (с предварительным подогревом прокатываемого металла до гомологических температур), теплой (с подогревом прокатываемого металла до гомологических температур) или холодной (без подогрева прокатываемого металла). Основная часть проката (заготовки, сортовой и листовой металл, трубы, шары и т.д.) производится горячей прокаткой при следующих начальных температурах: сталь — 1000...1300 °С, медь — 750...850 °С, латунь — 600...800 °С, алюминий и его сплавы — 350...400 °С, титан и его сплавы — 950...1100 °С, цинк — приблизительно 150 °С.

Холодная прокатка применяется главным образом для производства листов и ленты толщиной менее 6 мм, прецизионных сортовых профилей и труб; кроме того, холодной прокатке подвергают горячекатаный металл для получения более гладкой поверхности и лучших механических свойств, а также в связи с трудностью нагрева и быстрым остыванием заготовок малой толщины.

Теплая прокатка в отличие от холодной выполняется при повышенной температуре в целях снижения упрочнения (наклепа) и понижения пластичности металла при его деформации.

Форму поперечного сечения проката называют *профилем*, который может быть по длине изделия либо постоянным, либо переменным (периодическим). Совокупность различных профилей и их размеров называют *сортаментом*. Сортамент проката делится на следующие основные группы: 1 - сортовой и фасонный прокат; 2 - листовой прокат; 3 - специальные виды проката; 4 — трубы.

На рис. 3.4 приведены профили сортового (1 - 4) и фасонного (5 - 8) проката общего назначения, а также профили проката специального назначения (9 - 12). К первой группе профилей относят прокат, имеющий сечение в виде круга, квадрата, полосы и шестигранника. Сортовой прокат (простой профиль) обычно идет либо

на дальнейшую обработку давлением (ковку, штамповку), либо на механическую обработку. Фасонный прокат общего назначения (профили сложной геометрической формы) включает прокат, имеющий сечение в виде угольника, тавра, двутавра, швеллера. Прокат этих двух групп находит наибольшее применение в промышленности.

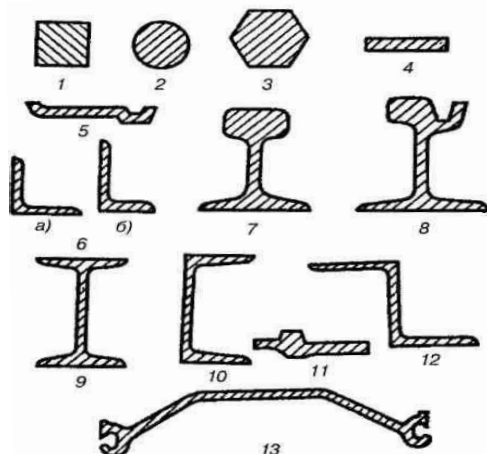


Рис. 3.4. Профили стального проката: 1 — квадрат; 2 — круг; 3 — шестигранник; 4 — полоса; 5 — автообод; 6 — уголовой (*a* — равнобокий; *б* — неравнобокий); 7 — рельс железнодорожный; 8 — рельс трамвайный; 9 — балочный; 10 — швеллер; 11 — опорная планка направляющего колеса трактора; 12 — зетовый профиль; 13 — шпунт

Специальный прокат включает в себя цельнокатаные дисковые вагонные колеса, шестерни, шары и другие детали относительно сложного профиля.

Листовой прокат делится на толстолистовой (толщина $h > 4$ мм), тонколистовой ($h < 4$ мм) и фольгу ($h < 0,2$ мм). Листовая сталь, кроме того, делится на электротехническую (тощина 0,1-1,0 мм, у холоднокатаной ширина 1100 мм и длина 600-2000мм), котельную, автотракторную и др., а также листовую сталь с оловянным, цинковым, медным, алюминиевым и полимерным покрытием.

Трубный прокат применяется для водо-, нефте- и газопроводов. Трубы бывают сварные (из углеродистых и низколегиро-

ванных сталей с наружным диаметром 5 – 2500 мм и толщиной стенки 0, 5- 16 мм) и бесшовные (прокатывают из углеродистых и легированных сталей с наружным диаметром 30 – 650 мм и толщиной стенки 0, 2-16 мм).

Существуют сортаменты вышерассмотренных прокатываемых профилей из цветных металлов и сплавов на их основе. Обычно из них производят сортовой прокат простого профиля, листовой прокат и трубный.

Существует группа металлических изделий, называемых метизами, к которым относятся заклепки, болты, гайки, винты, шпильки, шурупы, гвозди и другие изделия. Их назначение основное – крепление деталей. Метизы изготавливают из углеродистых сталей, в том числе с гальваническим покрытием из кадмия, цинка и др., а также из цветных металлов и сплавов на их основе, когда требуется высокая электропроводность или отсутствие ферромагнитных свойств.

Технология прокатного производства. На современных металлургических предприятиях технологический процесс прокатки состоит из прокатки слитка в полупродукт и полупродукта — в готовый прокат.

Основными технологическими операциями прокатного производства являются: подготовка исходного металла к прокатке; нагрев металла перед прокаткой; прокатка; отделка и контроль качества проката [3].

Подготовка исходного металла (слитков и заготовок) к прокатке заключается в удалении с их поверхности различных дефектов (неглубоких трещин, плен, закатов, царапин, шлаковых включений и др.), что ведет к повышению качества поверхности катаной продукции, увеличению выпуска проката и улучшению технико-экономических показателей стана. Эта операция особенно важна при прокатке качественных углеродистых и легированных сталей.

Нагрев слитков и заготовок перед прокаткой должен обеспечить их высокую пластичность и получение требуемой структуры металла. Для этого необходимо строго соблюдать установленные режимы нагрева металла перед прокаткой, индивидуальные для каждой марки или группы марок стали.

При *прокатке* контролируют начальную и конечную температуру металла, заданный режим обжатия, проверяют настройку валков, наблюдают за размерами и формой получаемого проката, а также измеряют энергосиловые параметры процесса прокатки.

Для контроля над состоянием поверхности проката регулярно отбирают пробы. Основной контроль поверхности проводят перед зачисткой проката.

После прокатки контроль продолжают во время *отделочных операций* (резки на мерные длины, правки, удаления поверхностных дефектов и т.д.). Готовый прокат подвергают конечному техническому контролю и упаковке.

Исходным материалом при прокатке являются слитки или заготовки большей частью квадратного (*блюмы*) или прямоугольного (*слябы*) сечения. Заготовку с необходимым сечением и размерами никогда не удастся получить сразу в один проход между валками. Поэтому прокатку проводят в несколько проходов. В каждом проходе площадь сечения прокатываемого металла уменьшается, при этом форма и размеры заготовки постепенно приближаются к требуемому профилю.

Прокатка металла осуществляется с помощью системы машин и агрегатов, называемой *прокатным станом* (рис. 3.5) [4]. На станах также выполняются различные вспомогательные операции: транспортирование исходной продукции со склада к нагревательным печам и к валкам стана, передвижение металла в процессе прокатки, кантовка полос металла, правка, резка их на части, маркировка или клеймение, сматывание в рулоны, упаковка, передача на склад готовой продукции и др.

Основной частью прокатного стана является *рабочая клеть*. В подшипниках станины рабочей клетки вращаются рабочие валки 7. Подшипники верхнего валка могут перемещаться специальным нажимным устройством для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного расположения их осей. Вращение валкам передается от электродвигателя 1 через упругую муфту 2, редуктор 3, главную муфту 4, шестеренную клеть 5 и шпиндели 6.

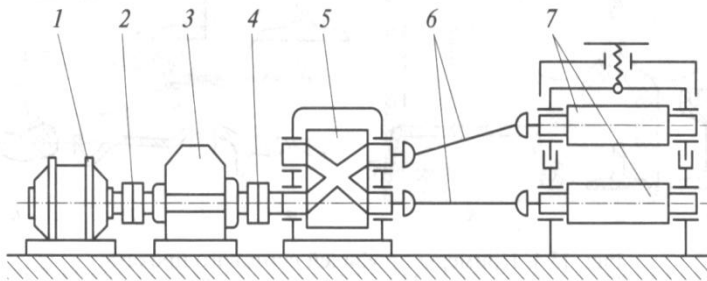


Рис. 3.5. Схема прокатного стана: 1 — электродвигатель; 2 — упругая муфта; 3 — редуктор; 4 — главная (трефовая) муфта; 5 — шестеренная клетка; 6 — шпиндели; 7 — рабочие валки

Для соединения шпинделей с прокатными валками рабочей клетки и валами шестеренной клетки служат соединительные трефовые муфты.

По назначению прокатные станы подразделяют на пять типов:

обжимные и заготовочные (блюминги, слябинги, заготовочные сортовые, трубнозаготовочные);

сортовые (рельсобалочные, крупно-, средне- и мелкосортные, проволочные);

листовые горячей прокатки (толстолистовые, широкополосовые, тонколистовые) и холодной прокатки (листовые, лентопрокатные, фольгопрокатные, плющильные);

трубопрокатные;

специальные (колесопрокатные, кольце- и бандажепрокатные, шаропрокатные, для профилей переменного сечения, для зубчатых колес и др.)

Блюминг - это высокопроизводительный прокатный стан для обжатия стальных заготовок большого сечения массой 1...12 т и формирования из них заготовок квадратного сечения со стороной свыше 140 мм, предназначенные для дальнейшей прокатки. Производительность блюмингов — приблизительно 2 млн. т в год или 400 т/ч. Для отгрузки суточной продукции блюминга требуется до 160 железнодорожных платформ.

Стальные заготовки прямоугольного сечения шириной 400...2500 мм и толщиной 75...600 мм, предназначенные для последующего листового проката, называют *слябами*, а прокатные станы для переработки крупных стальных слитков в слябы — *слябингами*. Кроме горизонтальных валков слябинг имеет еще и вертикальные, использующиеся для обжатия боковых кромок слитка (рис. 3.6).

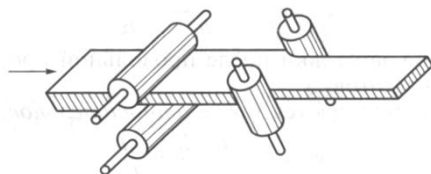


Рис. 3.6. Расположение валков в универсальном прокатном стане (слябинге) для прокатки широких полос

Инструментом для прокатки являются валки (рис. 3.7). Прокатный валок имеет рабочую часть 1, называемую бочкой, шейки 2, опирающиеся на подшипники станины клетки, и трефы 3. Сечение треф имеет форму крестовин или квадратов для передачи крутящего момента. Бочка валка может быть гладкой (при прокатке листов) или ручьевой (рис. 3.7, б) для получения сортового проката [2, 4].

Ручьем называют кольцевой вырез на боковой поверхности валка. Ручьи верхнего и нижнего валка образуют калибры (рис. 3.7, в).

Калибр называют открытым, если линия раздела проходит по оси симметрии, параллельной оси валков, и закрытым, если линия раздела ломаная и смещена в сторону одной из границ калибра.

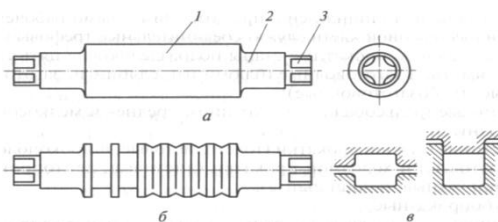


Рис. 3.7. Прокатные валки гладкого типа для листа (а), ручьевого типа для сортового проката (б), калиброванно-ручьевого типа — открытые, закрытые (в): 1 — бочка; 2 — шейки; 3 — трефы

Кроме рабочих валков, непосредственно осуществляющих деформацию металла, в прокатных станах часто используются также опорные валки. Это позволяет применять рабочие валки меньшего диаметра, благодаря чему снижается усилие деформирования.

На листовых станах прокатывают толстолистовую сталь и тонколистовую (конструкционную, кровельное железо, жесьть белую и черную, электротехническую, трансформаторную и др.).

Толстолистовую сталь прокатывают из слябов.

Тонколистовую сталь получают путем горячей и холодной прокатки.

Горячую прокатку осуществляют на полунепрерывных и непрерывных станах. На этих станах из слябов прокатывают листы шириной 600...2200 мм и более, толщиной 1,25...4 мм. Для окончательной отделки горячекатаной листовой стали непрерывные станы имеют нормализационную печь, травильную установку, сушильную машину, дрессировочные станы, правильные машины и ножницы. Готовый прокат поставляют в виде листов или рулонов.

Холодную прокатку тонких листов осуществляют в листах (карточках) и рулонах. Рулонный способ находит широкое применение.

Жесьть в зависимости от назначения и для предохранения от коррозии подвергают лужению, лакировке и т.п. Лужение жести в прокатных цехах производят двумя способами: погружением в расплавленное олово (горячее лужение) и электролитическим путем. Электролитическое лужение обеспечивает более равномерное покрытие металла с меньшим расходом олова.

Перспективны защитно-декоративные покрытия жести и листов пластмассой.

3.3. Волочение: продукция, схема процесса, оборудование и инструмент

При *волочении* заготовка протягивается через соответствующее отверстие в волочительном инструменте (волоке, фильере). При этом площадь поперечного сечения исходной заготовки уменьшается, и она приобретает профиль и размеры отверстия (глазка) волочительной доски, а длина увеличивается (рис. 3.8).

Для этого к заостренному концу прутка 2 (рис. 3.8, *a*), пропущенного через отверстие волокна 1, прикладывается усилие волочения P . Пруток подвергается деформации — обжатую и вытяжке, вследствие чего он принимает форму и размеры отверстия волокна; при этом конечное сечение прутка S_k меньше исходного S_0 . Волочение проводится при комнатной температуре с применением смазки. При деформации может выделяться теплота, поэтому предусматривается охлаждение протягиваемого прутка. Металл в процессе волочения упрочняется, что снимается отжигом.

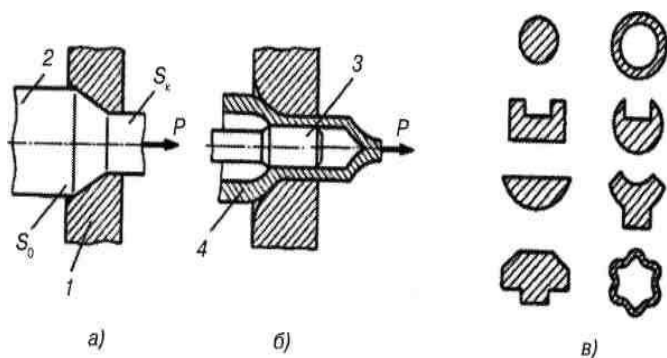


Рис. 3.8. Схемы волочения и виды профилей: *a* – прутка; *б* – трубы; *в* – поперечные сечения профилей: 1 – волокна; 2 – пруток; 3 – оправка; 4 – труба

В производстве труб 4 (рис. 3.8, *б*) используется два способа волочения: без оправки и с оправкой 3.

Волочением обрабатывают углеродистые и легированные стали, цветные металлы и их сплавы. Заготовками служат прокатанная проволока, а также профили и трубы.

Сортамент изделий, изготавливаемых волочением, разнообразен: проволока диаметром 0,002 – 16 мм и различные фасонные профили. Волочением получают проволоку (круглую, квадратную, прямоугольную, трехгранную, овальную, сегментную и т.д.). Выпускаются прутки диаметром от 3,0 до 150 мм, в том числе сортовая калиброванная сталь: круглая, а также квадратная и шестигранная с размерами сторон от 3,0 до 100 мм. Изготавливаются трубы диаметром от капиллярных до 200 мм с тол-

щиной стенки 1,5...12 мм. Волочение применяют также для калибровки прутков различного профиля. полученные изделия имеют точные размеры и гладкую поверхность.

Машины, служащие для обработки металлов волочением, называются *волочительными станами*. Волочительные станы состоят из двух основных элементов: матрицы, называемой фильерой (волокой), и тянущего устройства.

По способу осуществления тянущего усилия волочительные станы могут быть:

- с прямолинейным движением (цепные, реечные, винтовые);
- с наматыванием обрабатываемого металла (барабанные).

Станы с прямолинейным движением применяют для волочения прутков, труб и прочих изделий, не подвергаемых сматыванию в бунты. В волочительных станах с цепным приводом, применяемых для волочения прутков, профилей и труб длиной 8-10 м, усилие создается бесконечной шарнирной цепью. Волочительные станы с цепным приводом изготавливаются с усилием тяги 5-500 кН, что позволяет протягивать прутки с начальным диаметром до 150 мм и трубы диаметром до 200 мм. Скорость волочения на них может быть в пределах 0,1- 1,25 м/с, а число одновременно протягиваемых прутков - до 10.

Станы с наматыванием металла в бунты применяются для волочения проволоки и некоторых специальных профилей и труб небольшого диаметра. Для получения стальной проволоки диаметром до 0,5 мм используют волочительные доски со вставными глазками (фильерами) из твердых сплавов, а для получения тонкой медной или вольфрамовой проволоки диаметром до 0,25 мм – алмазные глазки

3.4. Прессование: схемы процесса, продукция, инструмент

Прессование — способ обработки металлов давлением, при котором металл выдавливают из замкнутой полости (контейнера) через отверстие в инструменте, называемом *матрицей*, в результате чего получают длинномерное изделие с сечением (профилем), по форме отвечающим отверстию матрицы.

Существует два способа прессования металла — прямой и обратный.

Прямой способ прессования (рис. 3.9, а) обеспечивает выдавливание через отверстие матрицы изделия в направлении движения пуансона. *Обратный* способ прессования (рис. 3.9, б) приводит к выдавливанию металла через отверстие матрицы навстречу движению пуансона.

При прессовании имеет место самая благоприятная схема напряженного состояния обрабатываемого металла по сравнению с другими процессами обработки металлов давлением. Эта схема позволяет обрабатывать малопластичные и даже хрупкие металлы без опасности их разрушения.

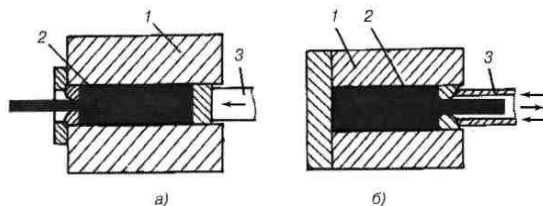


Рис. 3.9. Схема прессования: а — прямое; б — обратное; 1 — матрица; 2 — прессуемая заготовка (изделие); 3 — пуансон

При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию, благодаря чему имеет высокую пластичность. В этих условиях для прессования металла требуются большие по величине усилия. Процесс обычно протекает при температурах горячей обработки давлением.

Прессованием получают изделия очень сложной формы в поперечном сечении (рис. 3.10), которые невозможно получить другими способами пластической деформации. Способом прессования можно получать, например, прутки диаметром 5-200 мм, трубы диаметром до 800 мм при толщине стенки 1,5-8,0 мм.

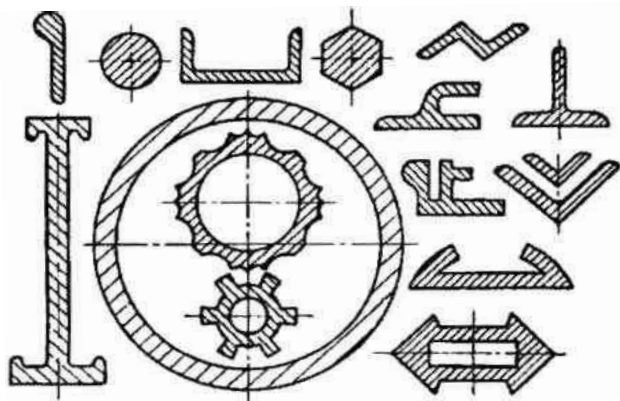


Рис. 3.10. Поперечные сечения профилей изделий, изготовленных прессованием

К технологическим достоинствам процесса прессования относятся быстрота и легкость переналадки прессования с одних видов и размеров профилей на другие путем замены матриц, повышенные качество и точность профилей изделий, высокая производительность (до 5 м/мин).

Прессованием обрабатывают углеродистые и легированные стали, медные, алюминиевые, магниевые, цинковые, никелевые и титановые сплавы. Исходными являются литые или прокатанные заготовки. Прессованные изделия из цветных металлов и сплавов (меди и ее сплавов, цинковых, титановых и др.), а также из сталей в основном являются заготовками для получения изделий волочением, холодной прокаткой и другими способами обработки. Прессованные профили из алюминия, магния и их сплавов, как правило, являются готовыми изделиями.

К недостаткам прессования следует отнести значительные отходы, так как весь металл заготовки не может быть выдавлен из закрытой полости через отверстие в матрице. В полости остается пресс-остаток, который после окончания прессования отрезается от полученного профиля. При прессовании выход годного обычно составляет 70...80 %.

3.5. Ковка и штамповка

Ковка — способ обработки металлов давлением, осуществляемый с помощью кузнечного инструмента или штампов, при котором инструмент оказывает многократное, прерывистое воздействие на нагретую заготовку, в результате чего она деформируется и постепенно приобретает заданные форму и размеры.

Ковка является единственным способом изготовления крупных поковок (массой до 250 т): валов гидрогенераторов, коленчатых валов судовых двигателей, валков прокатных станов и т.д.

Ковка может быть *свободной* или *в подкладных штампах*, ручной или машинной, осуществляемой на паровоздушных молотах или на ковочных гидравлических прессах [2, 6, 7].

При *ручной ковке* применяют наковальни, большие и малые молотки (кувалды и ручники), клещи для захвата и поддержания заготовки, бородки, зубила, подбойники, обжимки (рис. 3.11, *а—з*), при *машинной ковке* — бойки, обжимки, раскатки, пережимки, патроны (рис. 3.11, *и — п*) [2, 4, 6].

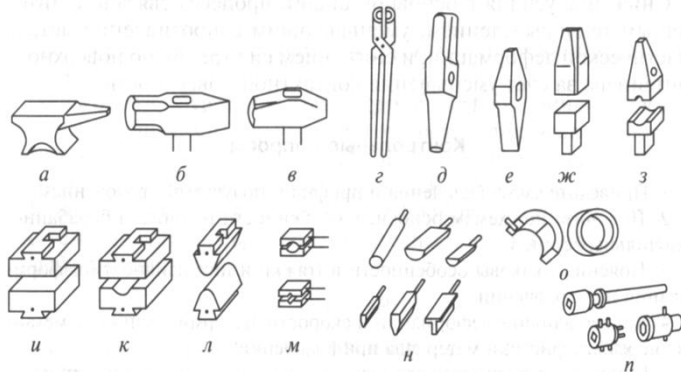


Рис. 3.11. Инструмент для ручной и машиннойковки: *а* — наковальня; *б* — кувалда; *в* — ручник; *г* — клещи; *д* — бородок; *е* — зубило; *ж* — подбойник; *з* — обжимка; *и* — плоские бойки; *к* — вырезные бойки; *л* — закругленные бойки; *м* — обжимки; *н* — раскатки; *о* — пережимки; *п* — патроны

Основными операциямиковки являются осадка, высадка, протяжка, прошивка, отрубка, гибка.

Осадкой называют такую технологическую операцию обработки давлением, при которой уменьшается высота исходной заготовки при одновременном увеличении площади ее поперечного сечения (рис. 3.12). При этом осадка цилиндрического образца может рассматриваться без учета трения на торцах (рис. 3.12, *а*) (идеальный вариант) или при наличии трения на торцах (рис. 3.12, *б*) (реальный вариант).

Для устойчивости при осадке цилиндрических заготовок высота заготовки должна быть не более двух с половиной ее диаметров: $h_0 < 2,5d$.

Высадка является разновидностью осадки. При этом металл осаживают лишь на части длины заготовки (рис. 3.13, *а*).

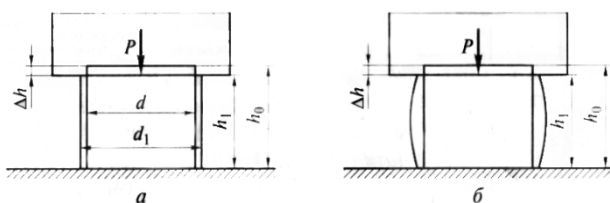


Рис. 3.12. схема осадки цилиндрического образца без трения на торцах (идеальный вариант - *а*), и при наличии трения на торцах (реальный вариант - *б*): h_0 и h_1 — исходный и конечные размеры обрабатываемого изделия, d — диаметр заготовки, d_1 — диаметр детали, Δh — величина осадка, P — усилие осадка.

Прошивка — операция получения полостей за счет вытеснения металла (рис. 3.13, *б*) с помощью инструмента — прошивки.

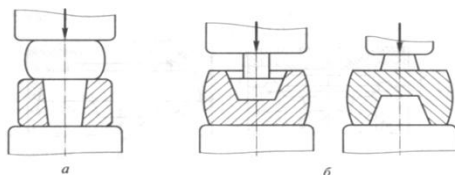


Рис. 3.13. Схемы высадки (*а*) и двусторонней прошивки (*б*)

Ковку обычно применяют в мелкосерийном или единичном производстве, а также для изготовления крупных поковок.

Технологические возможности свободной ковки:

масса поковки — до 250 т;

максимальная длина поковки — до 10 м;

шероховатость поверхности поковки Ra 160...80мкм (ГОСТ 2789-73);

коэффициент использования металла 0,3... 0,4;

минимальная партия поковок, обеспечивающая рентабельность процесса ковки, — без ограничений (даже 1 шт.).

Штамповка – процесс получения поковок, заключающийся в пластической деформации металла в закрытой полости специальной формы, называемой *штампом*. Форма и размеры полости штампа соответствуют форме и размерам будущей детали с учетом припуска на механическую обработку, если таковая предусмотрена. Обычно штампованные поковки механически обрабатывают только в местах сопряжения с другими деталями: это обработка может сводиться только к шлифованию. Штамп – это дорогостоящий инструмент и пригоден для изготовления только какой-то одной, конкретной детали. Поэтому штамповку используют только при массовом изготовлении поковок. Различают штамповку объемную и листовую.

При *объемной штамповке* (см.рис. 3.14) происходит значительное перераспределение металла, что возможно при высокой его пластичности. Поэтому металл перед штамповкой, как правило, нагревают.

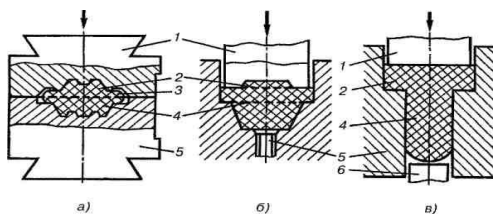


Рис. 3.14. Типы штампов для объемной штамповки:

а — открытый; б — закрытый; в — для выдавливания; 1 — верхний (подвижный) штамп, по схемам, б и в — пуансон; 2 — стенка ручья; 3 — облой (заусенец); 4 — штампованная поковка; 5 — нижний (подвижный) штамп;

б — выталкиватель

Горячей объемной штамповкой получают поковки сложной формы с минимальными напусками (или без них) и с меньшими допусками, чем при ковке (рис. 3.14). В качестве заготовки обычно используют отрезок прута. В ряде случаев в специальных штампах производят холодную объемную штамповку. В этом случае образуется наклеп. Штамп состоит из верхней 1 и нижней частей 5 , полости в них называют ручьями. Наиболее распространена горячая объемная штамповка при массовом, крупносерийном и серийном производствах автомобилей, тракторов, самолетов, металлорежущих станков и т.п. Масса штампованных поковок достигает 250 кг.

При *горячей объемной штамповке* течение металла ограничивается поверхностями полостей или выступов в отдельных частях штампа. В конечный момент штамповки металл занимает всю замкнутую полость штампа (ручей) в соответствии с конфигурацией поковки. По наличию или отсутствию заусенца различают штампы открытые (рис. 3.15, *а*) и закрытые (рис. 3.15, *б*).

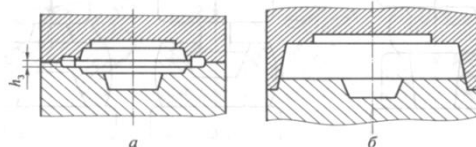


Рис. 3.15. Схемы штамповки в открытых (*а*) и закрытых (*б*) штампах $h_з$ - зазор

Штампование подразделяют на холодное и горячее (в зависимости от температуры нагрева заготовок), формовочное, высадочное, прошивное и т.д. (по типу операций), молотовое и прессовое (по типу применяемого оборудования).

Основными деталями штампа являются пуансон и матрица.

Штампы, предназначенные для молотовых и кривошипно-горячештамповочных прессов, состоят из верхней и нижней частей, на соприкасающихся поверхностях которых имеются ручьи для последовательного формообразования изделия. Изготавливают штампы из углеродистых и легированных (в основном хромом) штамповых сталей.

Штамповка в открытых штампах характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями

штампа. В зазор вытекает заусенец (облой). По мере уменьшения зазора находящийся в нем металл интенсивно охлаждается, увеличивается предел текучести металла и возрастает сопротивление перемещению заусенца. Благодаря этому заполняется вся полость штампа, и только излишки металла вытесняются в заусенцы. Заусенцы впоследствии удаляются в специальных обрезающих штампах.

При *штамповке в закрытых штампах* зазор между подвижной и неподвижной частями штампа достаточен для относительного перемещения частей штампа, но не для образования заусенца. Поэтому во избежание незаполнения углов полости штампа или увеличения высоты поковки необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки металла и поковки.

К штамповке в закрытых штампах можно отнести штамповку *выдавливанием* (см.рис. 3.14, в).

Производительность штамповки значительно выше, чемковки. Усилия при штамповке больше, чем при ковке одинаковых поковок. Поэтому масса поковок, изготавливаемых объемной штамповкой, редко превышает 20 кг.

По сравнению со свободной ковкой горячая объемная штамповка имеет следующие преимущества: штампованные поковки имеют более сложную форму и лучшее качество поверхности; штампованные поковки можно получать со значительно меньшими допусками и припусками (последние снижаются в 2 - 3 раза); уменьшаются штамповочные уклоны, так как есть выталкиватели в штампах; повышается производительность труда.

Недостатки горячей объемной штамповки: ограничения по массе получаемых поковок; дополнительный «отход» металла в заусенец (облой) при штамповке в открытых штампах, величина которого по массе составляет 10 - 30% от массы поковки; для объемной штамповки требуются большие усилия прессования, чем дляковки; инструмент (штамп) является более сложным и дорогим, чем универсальный инструмент дляковки.

Ковку и штамповку выполняют на ковочных и штамповочных молотах и прессах.

Ковочный молот служит для обработки металлических заготовок ударами падающих частей.

По роду привода молоты бывают паровоздушные (рис. 3.16, а), пневматические (рис. 3.16, б), механические и гидравлические.

Паровоздушные молоты (рис. 3.16, а) приводятся в действие паром или сжатым воздухом под давлением 0,7... 0,9 МПа. Перемещение бабы 1 относительно направляющих 2 происходит при движении поршня 3 под действием сжатого пара или воздуха. При подаче пара (или воздуха) в верхнюю полость цилиндра 4 падающие части перемещаются вниз и наносят удар по заготовке, уложенной на нижний боек 5. При подаче пара (или сжатого воздуха) в нижнюю полость цилиндра падающие части поднимаются в верхнее положение. Паровоздушные ковочные молоты имеют массу падающих частей 500 - 5000 кг, а штамповочные - 500 ... 30000 кг. На ковочных молотах изготавливают поковки массой 20 ... 2000 кг, как правило, из прокатанных заготовок или из слитков. Максимальная масса штампованных поковок - 1000 кг.

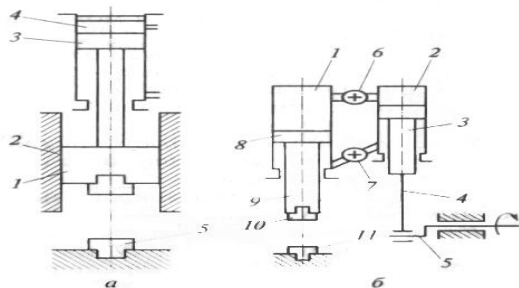


Рис. 3.16. Принципиальные схемы молотов: а - паровоздушного: 1 - баба; 2 - направляющие; 3 - поршень; 4 - цилиндр для подачи пара; 5 - нижний боек; б - пневматического: 1 - рабочий цилиндр; 2 - компрессорный цилиндр; 3 - поршень компрессорного цилиндра; 4 - шатун; 5 - вал; 6, 7 - верхний и нижний золотник соответственно; 8 - поршень рабочего цилиндра; 9 - баба молота; 10 - верхний боек; 11 - нижний боек

Пневматические молоты (рис. 3.16, б) содержат два цилиндра: рабочий 1 и компрессорный 2. Поршень 3 компрессорного цилиндра перемещается шатуном 4 от кривошипного вала 5. При этом воздух поочередно сжимается ($p = 0,3$ МПа) в верхней или нижней полостях цилиндра и при нажатии на педаль или

рукоятку, открывающую золотники 6 и 7, поступает в рабочий цилиндр 1. Рабочий цилиндр действует на поршень 8. Поршень вместе с массивным штоком 9 одновременно является бабой молота, в которой крепится верхний боек 10. При перемещении падающих частей вниз верхний боек ударяет по заготовке, уложенной на неподвижный нижний боек 11.

Основание ковочного молота (шабот) имеет массу, значительно (примерно в 8...15 раз) превышающую массу падающих частей. Шаботы штамповочных молотов еще массивнее — в 20...30 раз больше массы падающих частей. Это обеспечивает высокий КПД удара ($\eta = 0,8...0,9$) и высокую точность соударения частей штампа. Кроме того, для этой же цели молоты имеют усиленные регулируемые направляющие для движения бабы.

По способу работы различают *молоты простого* и *двойного действия*. В молотах простого действия падающая часть (баба) падает свободно под действием собственной силы тяжести, а в молотах двойного действия она дополнительно разгоняется. Скорость бабы высокоскоростных молотов может достигать 25 м/с, а у обычных молотов 3...6 м/с.

У *бесшаботных паровоздушных молотов* шабот заменен нижней подвижной бабой, соединенной с верхней бабой механической или гидравлической связью.

Необходимый молот выбирают на основании расчета или по справочным таблицам.

Кривошипные штамповочные прессы имеют постоянный ход, равный удвоенному радиусу кривошипа (рис. 3.17). Штамповка на кривошипных прессах характеризуется высокой производительностью и точностью заготовок по высоте.

Заготовка извлекается из штампа при обратном ходе его верхней части с помощью выталкивателей. Благодаря этому удобно штамповать в закрытых штампах выдавливанием и прошивкой.

Кривошипные штамповочные прессы усилием 6,3...100 МН успешно заменяют штамповочные молоты с массой падающих частей 630...10000 кг. Однако стоимость кривошипного горячештамповочного прессы в 3...4 раза выше стоимости эквивалентного по технологическим возможностям молота.

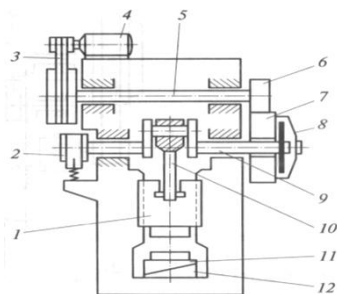


Рис. 3.17. Схема кривошипного штамповочного пресса:

- 1 — пуансон; 2 — упор; 3 — привод; 4 — электродвигатель;
 5 — подвижная матрица; 6 — приводной вал; 7 — главный ползун;
 8 — крышка; 9 — кривошипный вал; 10 — кулиса; 11, 12 — верхний
 и нижний бойки

Горизонтально-ковочные машины (ГКМ) имеют штампы, состоящие из трех частей (рис. 3.18): неподвижной матрицы 3, подвижной матрицы 5 и пуансона, размыкающихся в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. Пруток 4 с нагретым участком, обращенным к пуансону, закладывают в неподвижную матрицу 3. Положение прутка фиксируется упором 2. При включении ГКМ подвижная матрица 5 прижимает пруток к неподвижной матрице, упор 2 отводится в сторону, а пуансон ударяет по выступающей части прутка, деформируя ее.

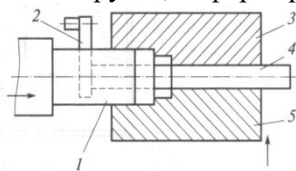


Рис. 3.18. Схема штамповки ступенчатого вала с фланцем на горизонтально-ковочной машине: 1 — пуансон; 2 — упор; 3 — неподвижная матрица; 4 — пруток (заготовка); 5 — подвижная матрица

Работа ГКМ поясняется кинематической схемой, приведенной на рис.3.19. Главный ползун 7, несущий пуансон, приводится в движение от кривошипного вала 6 с помощью шатуна 5. Подвижная щека 1 приводится в движение от бокового ползуна

3 системой рычагов 2. Боковой ползун приводится в движение кулачками 4, установленными на конце кривошипного вала 6.

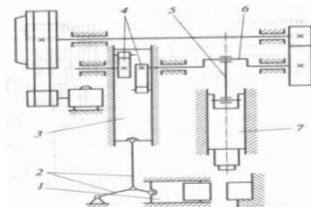


Рис. 3.19. Кинематическая схема горизонтально-ковочной машины: 1 - подвижная щетка; 2 - система рычагов; 3 - ползун; 4 - подвижные кулачки; 5 - шатун; 6 - кривошипный вал; 7 — главный ползун

Горизонтально-ковочные машины обычно строят с усилием до 30 МН. Основными операциями, выполняемыми на ГKM, являются высадка, прошивка и пробивка.

Штамповку на ГKM можно выполнять за несколько проходов в отдельных ручьях, оси которых расположены горизонтально одна над другой. Каждый переход выполняется за один рабочий ход машины.

Действие гидравлического пресса основано на законе гидростатического давления Паскаля (рис. 3.20): $P = P_1 \frac{D^2}{D_1^2}$.

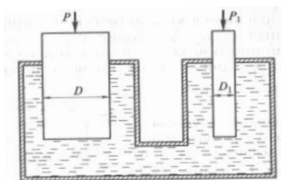


Рис. 3.20. Схема к объяснению закона Паскаля

Усилие современных гидравлических штамповочных пресов достигает 750 МН.

Листовая штамповка предназначена для получения разнообразных плоских и пространственных изделий типа облицовочных автомобильных деталей, деталей самолетов, ракет и других изделий сложной формы из листового или полосового материала. Толщина заготовок обычно не превышает 10 мм.

При толщине заготовки более 20 мм производят горячую штамповку. Толщина стенок изделий, полученных листовой штамповкой, незначительно отличается от толщины исходных заготовок.

Листовую штамповку применяют в автомобильной, авиационной, электротехнической промышленности, в тракторостроении, приборостроении и др.

Листовая штамповка снижает объем обработки резанием, обеспечивает высокую точность размеров и производительность (до 40 тыс. деталей в смену с одной машины).

Как правило, при листовой штамповке пластическую деформацию, обеспечивающую необходимые форму и размеры, получает лишь часть заготовки. Операции, в которых изменяется лишь форма и размеры заготовки без разрушения ее в процессе деформирования, называются *формоизменяющими*. Операции, обуславливающие разрушение материала заготовки, называются *разделительными*.

При листовой штамповке заготовка обычно деформируется с помощью пуансона и матрицы. К числу формоизменяющих операций листовой штамповки относят гибку, вытяжку, отбортовку, обжим, раздачу и др. (рис. 3.21).

Гибку (рис. 3.21, *а*) применяют для изменения кривизны заготовки практически без изменения ее линейных размеров [4, 5]. В результате такого деформирования часть заготовки поворачивается относительно другой на определенный угол.

Вытяжка (рис.3.21, *б*) заключается в протягивании заготовки через отверстие матрицы, причем плоская заготовка превращается в полая изделие. Вытяжка может осуществляться без утонения или с утонением стенки заготовки.

При *обжиге* (рис. 3.21, *г*) полая цилиндрическая заготовка подается в отверстие матрицы, в результате чего происходит уменьшение поперечных размеров.

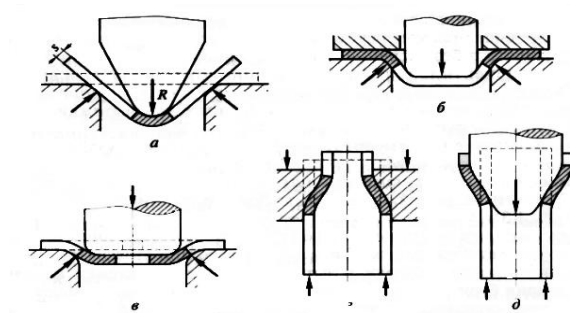


Рис. 3.21. Операции листовой штамповки: *a* — гибка; *б* — вытяжка; *в* — отбортовка; *г* — обжим; *д* — раздача

Детали, изготавливаемые листовой штамповкой, отличаются хорошей взаимозаменяемостью, достаточной точностью. Штампованные детали из листового металла изготавливают за одну или несколько последовательно выполняемых операций. В большинстве случаев их не подвергают механической обработке и они сразу поступают в сборочное производство.

Тестовые задания

34. Неравномерность свойств металла в разных плоскостях и направлениях называется:

- а) ликвацией;
- б) деформацией;
- в) изотропией;
- г) анизотропией.

35. Изменение формы и размеров заготовки при воздействии нагрузки называется:

- а) упругостью;
- б) деформацией;
- в) пластичностью;
- г) относительным удлинением;
- д) штампуемостью.

36. Холодная деформация по сравнению с горячей придает металлической заготовке следующие преимущества:

- а) высокую пластичность;
- б) высокое качество поверхности;
- в) значительную точность размеров;
- г) повышенную прочность и упругость;
- д) равномерность и стабильность свойств и структуры.

37. Назовите способы обработки металлов давлением :

- а) цементация и наклеп;
- б) фрагментация;
- в) металлизация и штамповка;
- г) прокатка, волочение, прессование, ковка, штамповка.

38. Перечень выпускаемого проката с указанием профиля, размеров и допусков на них называется:

- а) блюмингом;
- б) слябингом;
- в) классификатором;
- г) сортаментом;
- д) базой.

39. Инструментом для прокатки являются:

- а) штампы;
- б) бойки;
- в) цилиндры;
- г) валки;
- д) фильеры.

40. К инструментам для работы на прессе относят :

- а) штамп;
- б) иглу, матрицу, контейнер, пресс-шайбу;
- в) пресс-цилиндр;
- г) обойму.

41. Процесс протягивания заготовки через суживающееся отверстие инструмента называется:

- а) прокаткой;
- б) прессованием;
- в) ковкой;
- г) штамповкой;
- д) волочением.

42. На волочильных станках производят:

- а) проволоку,
- б) отливки;

в) калибровку труб и прутков;

г) сортамент;

д) поковки.

43. Изделие, получаемое ковкой, называется:

а) отливкой;

б) деталью;

в) припуском и напуском;

г) поковкой.

44. К машинам динамического действия относят ковочные:

а) прессы;

б) молоты;

в) штампы;

г) гильотины;

д) шаботы.

45. Ковкой и штамповкой изготавливают металлические изделия, которые называются:

а) отливками;

б) облоями;

в) поковками;

г) штампами.

46. Механические свойства штампованных и кованных изделий по сравнению с литыми изделиями:

а) выше;

б) ниже;

в) одинаковые.

47. При штамповке в открытом штампе поковки получают:

а) с прибылью;

б) с шероховатостью поверхности;

в) раковинной;

г) с обломом (заусенцем);

д) с трещиной.

48. Укажите недостатки открытой объемной штамповки:

а) небольшая производительность;

б) потери металла в облой (заусенец);

в) необходимость отрезки облоя.

49. Вырезы двух валков и зазор между ними образуют:

а) калибр;

б) сортамент;

- в) профиль;
- г) сечение;
- д) систему.

50. Прокат подразделяют на следующие группы:

- а) ковкий чугун,
- б) сортовая сталь,
- в) серый чугун;
- г) листовая сталь;
- д) трубы.

51. Укажите очередность технологических операций прокатного производства:

- а) отделка;
- б) нагрев;
- в) подготовка исходного материала;
- г) прокатка.

4. СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

4.1. Классификация способов сварки

Сваркой называют образование неразъемного соединения заготовок или деталей машин путем их местного сплавления, совместного деформирования, сдавливания, в результате чего возникают прочные связи между атомами (молекулами) соединяемых тел.

Основные физические процессы, лежащие в основе различных способов сварки, заключаются [6]:

в местном расплавлении материала свариваемых заготовок (деталей) и последующем сплавлении, кристаллизации расплавленного металла с образованием общих для соединяемых заготовок кристаллических решеток;

в создании условий для адгезии (схватывания) поверхностей свариваемых заготовок путем очищения контактируемых поверхностей от оксидов, загрязнений, нагрева и совместного пластического деформирования;

в создании условий, благоприятных для взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях контактирующих материалов, находящихся в твердом состоянии;

в объединении частей молекулярных цепей при сварке пластмасс.

Сваркой соединяют однородные и неоднородные металлы и их сплавы, металлы с некоторыми неметаллическими материалами (керамикой, графитом, стеклом и др.), а также пластмассы.

Существует свыше 60 различных способов сварки, отличающихся друг от друга способами нагрева заготовок, источниками энергии, наличием или отсутствием расплавления материала свариваемых заготовок, применением присадочных материалов или плавящихся электродов, совместного пластического деформирования, диффузии и т.д.

С учетом природы физических процессов, обеспечивающих получение неразъемных соединений, различные способы сварки принято подразделять на две основные группы: термомеханические, сочетающие применение нагрева заготовок с механиче-

ским воздействием (давлением) и термические (или способы сварки плавлением).

По виду энергии, используемой для нагрева металла, все способы сварки можно разделить на основные группы: электрические, химические, механические и лучевые. Наиболее важной является группа электрических способов, при которых для нагрева металла используется электрический ток. Различают следующие основные виды электрической сварки: дуговая, электрошлаковая, плазменная. К группе химических способов сварки принадлежит газовая и термитная. Нагрев металла при этих способах сварки осуществляется за счет тепла экзотермических реакций окисления различных веществ, находящихся в газообразном или твердом состоянии.

Термомеханические способы сварки основаны на сближении свариваемых поверхностей до образования межатомных связей путем схватывания (адгезии) или путем диффузии.

Для возникновения адгезионных связей необходимы высокие давления, повышенные гомологические температуры, а также отсутствие оксидных пленок, наличие чистых поверхностей контактирующих металлов (материалов). Поскольку для такого сближения контактируемых поверхностей и создания высоких давлений необходимы большие удельные силы, в месте адгезионного соединения поверхностей свариваемых заготовок обычно происходит пластическая деформация [6].

Для легкоплавких пластичных металлов (алюминия, меди, кадмия, свинца, золота, серебра, цинка) сварку деталей из этих материалов выполняют без предварительного нагрева заготовок. Такой способ получения неразъемных соединений местной пластической деформацией без предварительного нагрева заготовок называют холодной, или механической, сваркой (рис.4.1).

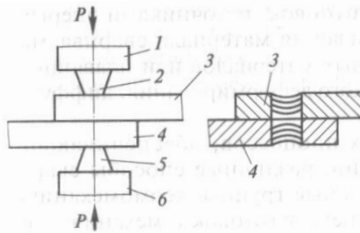


Рис. 4.1. Схема холодной сварки: 1, 6 — опорные части; 2, 5 — опорные выступы; 3, 4 — свариваемые заготовки

Высокопрочные и тугоплавкие металлы, в том числе и стали, требуют предварительного подогрева заготовок непосредственно перед их пластическим деформированием (осаживанием).

При сварке взрывом условия для схватывания свариваемых поверхностей создаются с помощью энергии направленного взрыва (рис.4.2).

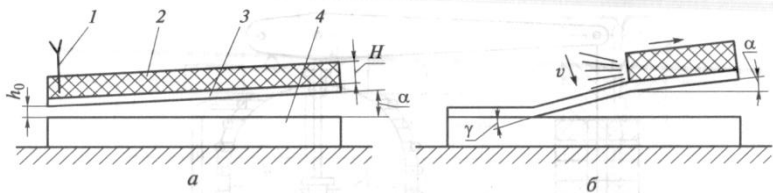


Рис. 4.2. Схема сварки взрывом: а — перед взрывом; б — в момент взрыва; 1 — детонатор; 2 — взрывчатое вещество толщиной H , 3, 4 — свариваемые заготовки

При срабатывании детонатора 1 детонация взрывчатого вещества сообщает заготовке 3 импульс тепловой и кинетической энергии со скоростью v в несколько тысяч метров в секунду.

На минимальном расстоянии h_0 от заготовки 4 под углом α расположена заготовка 3 взрывчатым веществом 2. Часть заготовки 3 вследствие удара приваривается к заготовке 4, а участок заготовки непосредственно перед приваренной частью изгибается под углом γ . По мере сгорания взрывчатого вещества деформированный участок перемещается ко второму краю заготовки 4.

Продолжительность сварки взрывом не превышает нескольких микросекунд. Под влиянием больших скоростей деформации происходит повышение предела текучести материала заготовок в деформированной области. Поэтому прочность соединений, полученных сваркой взрывом, оказывается выше прочности соединяемых материалов.

Сварку взрывом применяют при изготовлении заготовок для проката биметалла, плакирования поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами с особыми физическими и химическими свойствами, при сварке заготовок из неоднородных материалов.

Диффузионная сварка также относится к классу термомеханических способов сварки, но она основана на принципиально другом физическом явлении — диффузии. Диффузия представляет собой взаимное проникновение вещества свариваемых заготовок, обусловленное тепловым движением ионов, атомов, молекул и различной концентрацией химических элементов. Перенос вещества посредством диффузии происходит в направлении убывания концентрации диффундирующих элементов. Поэтому диффузионной сваркой хорошо свариваются отличающиеся по химическому составу металлы и сплавы.

Диффузионная сварка связана с использованием сложной и дорогой аппаратуры и применяется в космической и авиационной промышленности, для сварки ответственных деталей вакуумных приборов, инструментов и др.

Основными способами термомеханической сварки являются также электрическая контактная, трением и ультразвуковая.

Электрическая контактная сварка осуществляется с помощью нагрева свариваемых заготовок в месте контакта и пластической деформации контактируемых поверхностей, в ходе которой формируется сварное соединение.

Электрическую контактную сварку классифицируют по типу сварного соединения и роду тока. По типу сварного соединения электрическая контактная сварка может быть стыковой (рис.4.3), точечной (рис. 4.4) или шовной (рис.4.5).

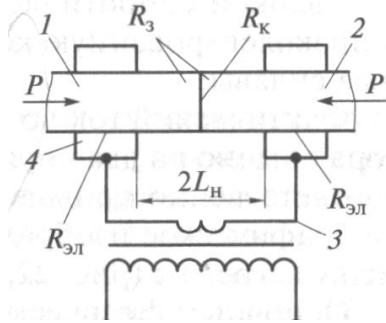


Рис. 4.3. Схема стыковой контактной сварки: 1, 2 — свариваемые заготовки; 3 — трансформатор; 4 — медная подкладка; P — усилие прижима электродов; $R_з$, $R_к$, $R_{эл}$ — сопротивление соответственно заготовки, сварочного контакта и электродов

По роду тока различают электрическую контактную сварку переменным током, импульсами постоянного тока, аккумулярованной энергией.

В зависимости от температуры нагревания стыка различают электрическую контактную стыковую сварку сопротивлением или оплавлением.

При *стыковой сварке* (рис. 4.4) свариваемые заготовки 1 и 2 (стержни, полосы, рельсы, трубы) закрепляют в медных зажимах машины и сжимают с усилием P .

Электрическое напряжение на зажимы подается через сварочный трансформатор 3.

Стыковую сварку оплавлением применяют для изделий из углеродистых и легированных сталей, чугунов, сплавов Al и Ti сечением до $5 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$ и более.

Точечную сварку применяют для соединения листовых конструкций, в которых необходимо обеспечить нужную герметичность, а обеспечение прочности не является обязательным. Суммарная толщина листов не превышает 10...12 мм. При точечной сварке сложенные внахлестку детали 1 (рис.4.5) зажимают с некоторым усилием P между медными электродами 2, подводящими ток от сварочного трансформатора 3 к месту сварки.

На машинах точечной сварки сваривают изделия из углеродистых, легированных и высоколегированных стали и из сплавов цветных металлов.

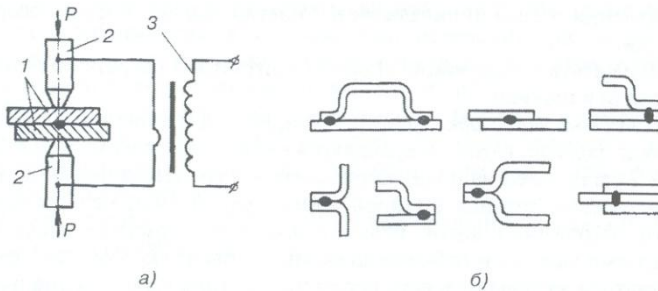


Рис. 4.4. Схема точечной контактной сварки (а) и получаемые соединения (б): свариваемые детали; 2- медные электроды; 3 - сварочный трансформатор

Шовную (роликовую) сварку применяют для получения прочных и плотных швов при изготовлении тонкостенных сосудов, предназначенных для хранения и транспортирования жидкостей, газов и других продуктов, а также в производстве тонкостенных труб. При шовной сварке (рис. 4.5) листовые заготовки 1 толщиной 0,3...3 мм собирают внахлестку и затем зажимают усилием P между двумя медными роликами 2, к которым подводят электрический ток от сварочного трансформатора 3.

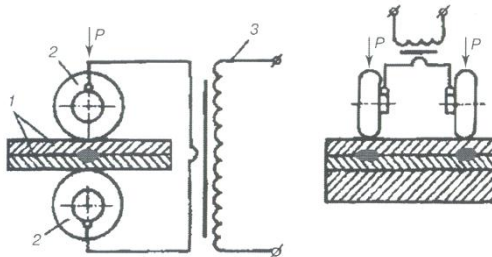


Рис. 4.5. Схема шовной сварки: 1 - свариваемые заготовки; 2 - медные ролики (электроды); 3 - сварочный трансформатор

При включении тока и одновременном вращении роликов происходит перемещение и нагрев до расплавления контактных

поверхностей свариваемых изделий, которые под действием сжимающих усилий свариваются.

Ультразвуковую сварку можно отнести к разновидностям контактной сварки. Она осуществляется под давлением наконечника 6 ультразвукового инструмента на свариваемые заготовки 7 (рис. 4.6).

На магнитоstrictionный преобразователь 2 подается напряжение переменного тока с ультразвуковой частотой, которое преобразуется в продольные упругие колебания. Эти колебания, передаваемые волноводом 4, усиливаются концентратором 5. Размеры волноводной системы подбираются так, чтобы в зоне сварки был максимум амплитудного значения колебаний (рис. 4.6, кривая 10).

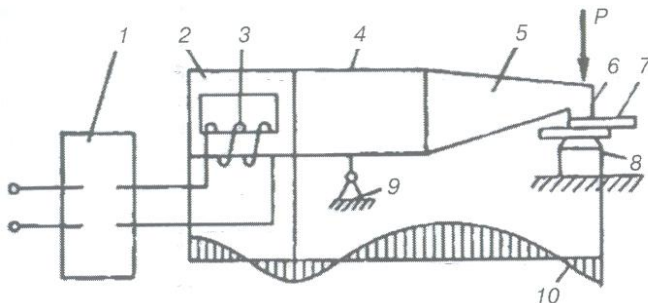


Рис. 4.6. Схема ультразвуковой сварки: 1 - источник тока; 2 - преобразователь; 3 - катушка; 4 - волновод; 5 - концентратор; 6 - наконечник; 7 - заготовки; 8 - опорный электрод; 9 - опора; 10 - кривая амплитудных колебаний

Сварное соединение образуется в результате совместного воздействия давления и колебаний при сдвиге.

К *термическим* относятся способы сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии (дуговая, плазменная, электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная, газовая и др.).

По материалу и функциональному назначению электродов различают способы сварки неплавящимся вольфрамовым или угольным (рис. 4.7, а - способ Н.Н. Бенардоса) или плавящимся металлическим электродом 1 (рис. 4.7, б - способ Н.Г. Славяно-

ва), расплавлением только основного металла 3 либо с применением присадочного металла 4 или металла плавящегося электрода, дугой, горящей между электродом и заготовкой, между двумя неплавящимися электродами (косвенной дугой), трехфазной дугой (рис. 4.7, *з*), горящей между двумя электродами и заготовкой.

По степени автоматизации различают ручную сварку, полуавтоматическую и автоматическую.

В зависимости от источников получения тепловой энергии термическую сварку подразделяют на дуговую, электрошлаковую, плазменную, газовую.

В зависимости от степени защиты различают сварку незащищенной дугой, сварку под флюсом, в среде защитных газов, в вакууме.

По роду применяемого электрического тока различают сварку на постоянном или переменном токе, при непрерывной подаче тока или импульсами тока, в зависимости от знаков электрического заряда на электродах при постоянном токе: при прямой и обратной полярности.

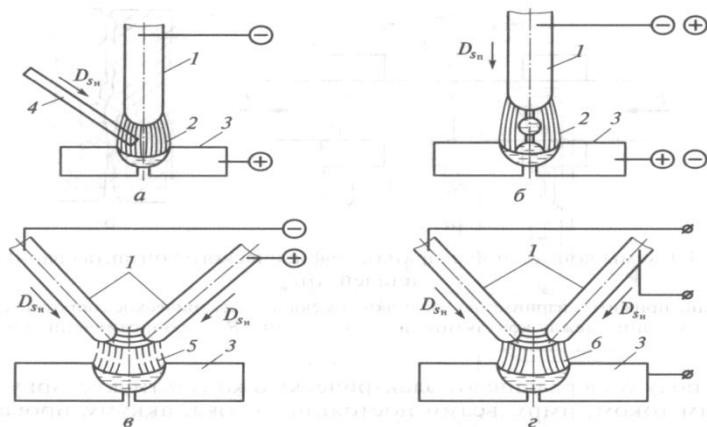


Рис. 4.7. Схемы дуговой сварки: *а, б* — дугой прямого действия соответственно неплавящимся и плавящимся электродом; *в, г* — дугой косвенного действия соответственно постоянным или трехфазным током; 1 — электрод; 2 — дуга прямого действия; 3 — основной металл; 4 — присадочный металл; 5 — дуга косвенного действия при постоянном токе; 6 — дуга при трехфазном токе; D_{sn} , D_{st} - движения подачи

В зависимости от формы сварного соединения различают стыковую, точечную, шовную сварку.

Прочность и твердость сварного шва, образующегося при термической сварке, обычно ниже, чем у основного металла. Это связано с особенностями металлургии сварочных процессов, которые состоят в том, что для предотвращения дефектов в качестве присадочных материалов или плавящихся электродов, как правило, используют материалы, легированные в меньшей степени, чем основной металл. Качество сварного шва нередко снижается из-за насыщения расплавленного металла защитными газами. В некоторой области заготовок, непосредственно прилегающей к сварному шву, зачастую возникают высокие и быстроизменяющиеся температуры, вызывающие в материале структурные изменения: укрупнение зерен, оплавление границ зерен, образование микроструктуры закалочного типа и т.д. Эту область материала называют *зоной термического влияния* (рис. 4.8).

При кристаллизации расплавленного металла в зависимости от условий охлаждения образуется неблагоприятная неоднородная литая структура, в металле шва могут возникать характерные для отливок горячие или холодные трещины [5].

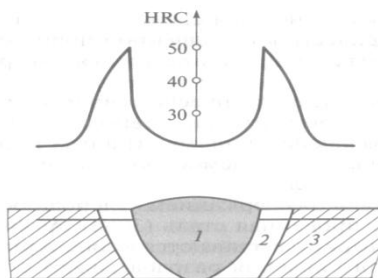


Рис. 4.8. Распределение твердости после термической сварки стали 40ХФА: 1 - сварной шов; 2 - зона термического влияния; 3 - основной материал свариваемых заготовок

Неравномерный местный нагрев заготовок вызывает в них термические деформации, а после остывания — термические напряжения.

Быстрое охлаждение металла сварного шва при насыщении его газами способно привести к повышенной пористости металла из-за затрудненного выхода пузырьков газа в атмосферу при кристаллизации металла.

Способность материалов к сварке оценивают по их свариваемости.

Не все металлы и сплавы обладают хорошей свариваемостью. Хорошей свариваемостью обладают низкоуглеродистая и низколегированная стали.

Углеродистая сталь с содержанием углерода более 0,3 % (например, сталь 45) и легированная сталь (30ХГСА, 40ХНМА и др.) при типовых режимах сварки закаляются в зоне термического влияния. Для устранения этого явления разрабатывают специальные технологические мероприятия, обеспечивающие более благоприятный температурный режим.

При сварке аустенитной высоколегированной коррозионно-стойкой стали, содержащей более 12 % хрома и 8 % никеля, возможно уменьшение содержания хрома в приграничных участках сварного шва, следствием чего может быть возникновение межкристаллитной коррозии. Более медленное охлаждение менее теплопроводной аустенитной стали может привести к коагуляции зерен и образованию тепловых трещин. Для устранения этих недостатков в сварочные материалы вводят необходимые легирующие элементы, способствующие измельчению зерен.

При сварке чугуна металл шва получает структуру белого чугуна, а зона термического влияния закаляется. Для устранения этих недостатков заготовки перед сваркой предварительно подогревают.

При сварке меди и ее сплавов вследствие их высокой теплопроводности применяют предварительный подогрев заготовок, источники теплоты повышенной мощности. Проблемы, возникающие при сварке алюминия и его сплавов, обусловлены образованием тонкой прочной и тугоплавкой поверхностной пленки оксида алюминия Al_2O_3 , а также склонностью к образованию горячих трещин и газовой пористости.

Проблемы насыщения расплавленного металла газами (кислородом, водородом, азотом) актуальны при сварке титана, циркония, молибдена, ниобия и их сплавов. Для устранения этих недостатков сварку ведут в среде защитных газов.

4.2. Источники тепловой энергии и сварочного тока, применяющиеся при технологии сварки

При сварке металл нагревают при помощи источников теплоты, распределенных различным образом по поверхности или по объему свариваемых заготовок. При сварке плавлением источники теплоты должны проплавить кромки основного металла, расплавить в нужном количестве присадочный металл или металл электрода, образовать жидкую металлическую ванну. Для осуществления сварки в пластическом состоянии достаточно нагреть сдавливаемые участки поверхности металла до температуры, меньшей температуры плавления.

Как при сварке плавлением, так и при сварке в пластическом состоянии поверхности свариваемых частей металла подготавливают к осуществлению атомной или молекулярной связи путем местного нагрева.

При различных видах сварки используются разнообразные источники тепловой энергии [4, 6, 12]:

- электрическая сварочная дуга (прямого или косвенного действия);

- струя разогретого до высоких температур газа, пропускаемого через электрическую дугу или совмещенную с электрической дугой;

- теплота, образующаяся при прохождении электрического тока через расплавленную шлаковую ванну, через контакт свариваемых деталей, обладающий электрическим сопротивлением;

- теплота, образующаяся при трении контактирующих поверхностей свариваемых деталей;

- теплота от электрических вихревых токов, наводимых в проводнике переменным магнитным полем, или теплота, выделяющаяся в металле за счет местного повышенного электрического сопротивления;

электронный луч;
 лазерный луч;
 энергия удара и тепловая энергия, образующиеся при сгорании (детонации) взрывчатых веществ;
 пламя горючих газов, сгорающих в струе чистого кислорода, и др.

При газовой сварке источником теплоты являются горючие газы (чаще всего — ацетилен), сгорающие в атмосфере кислорода. Чаще всего используют газосварочные горелки инжекторного типа (рис. 4.9, а), так как они наиболее безопасны. Кислород под давлением 0,1...0,4 МПа через кислородный вентиль 4 поступает в инжектор б. Выходя с большой скоростью из узкого канала инжектора, кислород подсасывает горючий газ, поступающий через вентиль 5.

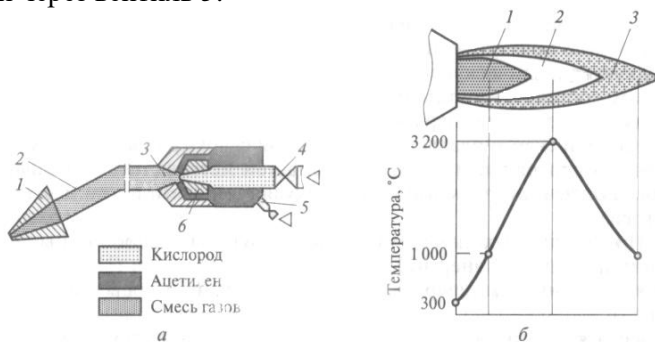


Рис. 4.9. Газосварочная инжекторная горелка: а – устройство горелки, 1 – наконечник горелки, 2 – мундштук, 3 – смешительная камера, 4 – кислородный вентиль, 5 – ацетиленовый вентиль, б – инжектор; б – строение газового пламени, 1 – ядро пламени, 2 – средняя зона, 3 – факел пламени

В смешительной камере 3 получается горючая смесь, которая через мундштук 2 подается к сменному наконечнику 1. Во избежание взрыва по окончании сварки первым отключают кислородный вентиль, а затем — ацетиленовый.

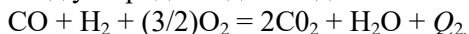
Ацетиленокислородное пламя (рис. 4.9, б) состоит из внутреннего ядра 1, средней зоны (восстановительное пламя) 2 и наружного факела 3. Внутреннее ядро и средняя зона пламени соответствуют двум последовательным стадиям горения ацетиле-

на. Во внутреннем ядре горючая смесь находится в стадии тепловой и химической подготовки к воспламенению.

В средней зоне пламени 2 при активном воздействии кислорода происходит неполное сгорание ацетилена в соответствии с экзотермической реакцией (ацетилен разлагается с образованием водорода и оксида углерода):



В средней зоне выделяется примерно 44 % теплоты, в факеле - примерно 56 % ($Q_i = 21 \text{ МДж/м}^3$). Температура в середине факела составляет 2400...2600 °С, а в средней зоне пламени - 3100 °С. В факеле горючие газы догорают, водород образует водяной пар, а оксид углерода — диоксид:



Уравнение полного сгорания ацетилена имеет вид:



Режим газовой сварки определяется выбранным диаметром присадочного металла (проволоки), зависящий от способа сварки и толщины свариваемого изделия, и мощностью газосварочного пламени. Необходимую тепловую мощность пламени подбирают в зависимости от толщины свариваемого изделия и способа сварки по эмпирической формуле [2]

$$N = A\delta,$$

где A - коэффициент пропорциональности, который для малоуглеродистой стали составляет 100...150; δ - толщина стенки изделия, мм.

По выбранной мощности пламени подбирают соответствующий номер наконечника сварочной горелки.

При *электрической контактной сварке* (рис. 4.3, рис. 4.4, рис. 4.5) теплота выделяется при пропускании электрического тока через место сварочного контакта, имеющее наибольшее электрическое сопротивление сварочного контура. Мощность источника теплоты N_e может быть определена произведением квадрата тока I на сопротивление сварочной цепи R и на коэффициент η , учитывающий потери мощности в сварочной цепи:

$$N_e = I^2 R \eta.$$

Сопротивление сварочной цепи складывается из сопротивления контакта R_k , сопротивления заготовок R_3 и сопротивления электродов-зажимов.

Плотность теплового потока на торце свариваемых заготовок оценивается по формуле:

$$2q_c = N_e/F_k,$$

где q_c — плотность теплового потока, поступающего в одну из свариваемых заготовок; F_k — площадь подвода энергии.

Электрическая сварочная дуга представляет собой устойчивый электрический разряд в сильно ионизированной газовой среде между двумя электродами (рис. 4.7). Ионизация газового промежутка при дуговой сварке в основном обусловлена электронной эмиссией с горячего катода. Разрядные явления сосредоточены в светящемся плазменном столбе. Температура плазмы в столбе электрической дуги 5000...6000 °С.

Питание дуги может осуществляться постоянным или переменным током. При применении постоянного тока полярность, при которой электрод служит отрицательным полюсом (катодом), а заготовка — положительным (анодом), называют прямой. Если же электрод является анодом, а заготовка — катодом, то полярность называют обратной.

Падение напряжения распределено неравномерно по длине дуги. Наибольшие местные падения напряжения наблюдаются у катодного и анодного пятен. Поэтому именно в области этих пятен сосредоточена основная часть выделяемой дугой теплоты. Анодное и катодное пятна дуги нагреваются до температуры, приближающейся к температуре испарения материала электрода. На стальном электроде эта температура составляет примерно 2100...2300 °С [5].

При возникновении электрического разряда (при зажигании дуги) увеличение силы тока сопровождается уменьшением напряжения между электродами. При увеличении силы тока эта зависимость стабилизируется (рис. 4.10, *а*), а при очень больших токах даже возрастает (рис. 4.10, *б*).

Рассмотрим различные стадии процесса зажигания электрической дуги. Если между электродом и свариваемой заготовкой имеется неионизированный воздушный промежуток, то ток отсутствует. Такой режим работы трансформатора называется режимом холостого хода. На рис. 4.10 ему соответствует точка *А*. При этом напряжение на вторичной обмотке трансформатора максимально и называется *напряжением холостого хода*.

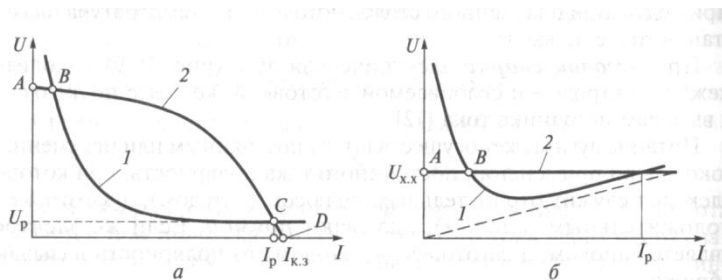


Рис. 4.10. Вольт-амперные характеристики электрической дуги (I) и сварочного трансформатора (2) для ручной (a) и автоматической ($б$) дуговой сварки: A — напряжение холостого хода; B — напряжение начала зажигания дуги; C — рабочее напряжение горения дуги; D — напряжение короткого замыкания

Для ионизации воздушного промежутка необходимо повысить температуру поверхностей анода и катода (электрода и заготовки). Для этого предусмотрен режим короткого замыкания. Режиму короткого замыкания соответствует точка D .

В режиме короткого замыкания электрод касается поверхности детали (рис. 4.11, a).

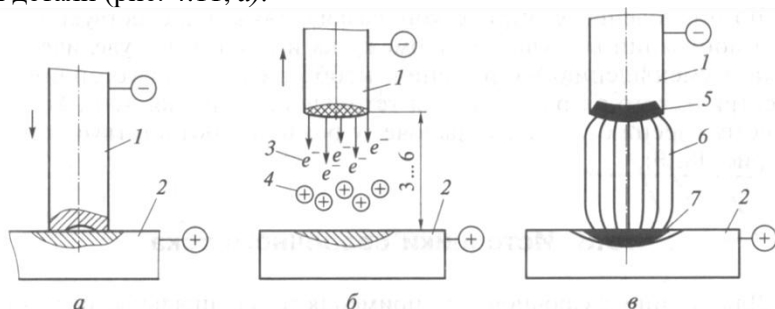


Рис. 4.11. Схема зажигания электрической дуги: a — короткое замыкание; $б$ — ионизация воздушного промежутка за счет эмиссии электронов; $в$ — устойчивый дуговой разряд; 1 — электрод; 2 — свариваемая заготовка; 3 — электроны; 4 — ионы; 5 — зона плавления на катоде; 6 — электрическая дуга; 7 — зона плавления на аноде

При этом напряжение падает до минимального значения, а ток возрастает до тока короткого замыкания. При прохождении

тока через контакт электрода и детали в месте контакта выделяется теплота и поверхности электрода и участка детали нагреваются.

При отрыве электрода от заготовки под действием тепловой энергии ускоряется движение свободных электронов, происходит эмиссия электронов в газовое пространство, воздушный промежуток ионизируется, его электрическое сопротивление уменьшается, среда становится электропроводной. Возникает неустойчивый слабый электрический разряд. Этому состоянию соответствует точка *B* (рис. 4.10).

Возможно зажигание дуги и без короткого замыкания и отвода электрода. Для этого в сварочную цепь на короткое время подключают источник высокочастотного переменного тока высокого напряжения (осциллятор).

Возникновение электрического разряда также способствует большей ионизации воздушного промежутка и приводит к увеличению тока и уменьшению напряжения, необходимого для устойчивого горения дуги. Устойчивому горению дуги соответствует точка *C* (рис. 4.10).

К основным параметрам, характеризующим свойства дуги, относятся напряжение, ток и длина дуги. Зависимость между напряжением и током при установившемся стационарном состоянии дуги выражается ее статической вольт-амперной характеристикой. Она может быть падающей *I* (рис. 4.12), жесткой *II* и возрастающей *III* [2, 9].

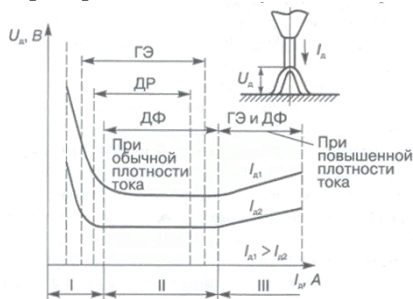


Рис. 4.12. Статическая вольт-амперная характеристика сварочных дуг: *ДР* — ручная сварка; *ДФ* — сварка под слоем флюса; *ГЭ* — газоэлектрическая сварка

Дуга, имеющая падающую статическую характеристику (зона I), малоустойчива, незначительное изменение тока резко сказывается на напряжении дуги, что приводит к ее обрыву.

В области II при дальнейшем росте силы тока и ограниченном сечении электродов столб дуги несколько сжимается и объем газа, участвующего в переносе зарядов, уменьшается. Это приводит к меньшей скорости роста числа заряженных частиц. Напряжение дуги становится мало зависящим от тока, а характеристика — пологой (жесткой). Изменение напряжения зависит от ее длины (длины столба дуги) и не зависит от величины сварочного тока:

$$U_d = \alpha + \beta \cdot l_d,$$

где U_d - напряжение на дуге, В; l_d - длина дуги, мм; α и β — коэффициенты, зависящие от рода материала электрода и состава газовой среды в междуготовом пространстве. Например, при сварке стальными электродами в атмосфере воздуха

$$\alpha = 10 \text{ В}; l_d = 2 \dots 3 \text{ мм}, \beta = 2 \text{ В/мм.}$$

Для образования сварочной дуги используют специальные источники питания с напряжением на 60 – 80 В как на постоянном, так и переменном промышленной частоты.

Источниками постоянного тока являются сварочные генераторы постоянного тока и сварочные выпрямители.

При сварке переменным током используют преимущественно сварочные трансформаторы.

Источники сварочного тока должны обеспечивать легкое зажигание и устойчивое горение дуги, ограничивать ток короткого замыкания и быть безопасными в работе. Величина напряжения, необходимого для зажигания дуги, называемого напряжением холостого хода источника сварочного тока, должна быть не ниже 30...35 В для источников постоянного тока и не менее 50...55 В для источников переменного тока. Для устойчивого горения открытой дуги в большинстве случаев достаточно напряжения 18...30 В. Для ограничения тока короткого замыкания необходимо, чтобы с увеличением тока нагрузки напряжение на зажимах источника тока снижалось.

Источники тока для питания сварочной дуги характеризуются внешней *вольт-амперной характеристикой*. Внешней характеристикой источника тока называется зависимость напря-

жения $U_{\text{ист}}$ на его выходных клеммах от тока $I_{\text{св}}$ в электрической цепи. Внешняя характеристика может быть падающей, пологопадающей, возрастающей и жесткой (рис. 4.13).

Источник тока выбирают в зависимости от статической вольт-амперной характеристики дуги, соответствующей принятому способу сварки.

Сварочные трансформаторы, как правило, имеют падающую внешнюю характеристику и используются для ручной или автоматической дуговой сварки [4, 6, 7].

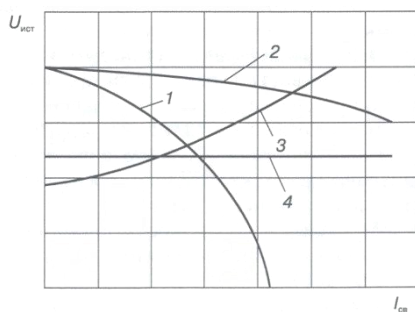


Рис. 4.13. Внешние вольт-амперные характеристики источников питания дуги: 1 падающая; 2 — пологопадающая; 3 — возрастающая; 4 — жесткая

Внешнюю вольт-амперную характеристику сварочного трансформатора изменяют в целях обеспечения безопасного напряжения холостого хода трансформатора и регулирования сварочного тока и тока короткого замыкания. Для ручной дуговой сварки покрытым электродом сварочный трансформатор должен иметь крутопадающую в области больших токов вольт-амперную характеристику 2 (рис. 4.10). Это необходимо для ограничения тока короткого замыкания и уменьшения колебания тока при изменении расстояния между электродом и свариваемой заготовкой. В то же время в области малых токов внешняя вольт-амперная характеристика должна быть полой, стационарной. Это необходимо для ограничения напряжения холостого хода и облегчения возникновения первого электрического разряда.

Для питания дуги с *жесткой* характеристикой применяют источники тока с *падающей* внешней характеристикой (ручная дуговая сварка, автоматическая сварка под флюсом, сварка в защитных газах неплавящимся электродом). Взаимосвязь статической характеристики дуги 1 и падающей характеристики источника питания дуги 2 приведена на рис. 4.10, а.

Если статическая вольт-амперная характеристика дуги падающая, то для устойчивого горения требуются источники питания только с падающей характеристикой. Для устойчивого горения дуги с возрастающей статической характеристикой могут быть использованы *любые* источники питания.

Сварочные агрегаты состоят из двигателя внутреннего сгорания и сварочного генератора постоянного тока. Агрегаты монтируют на подвижных платформах, прицепах и используют в монтажных и полевых условиях для ручной сварки.

Сварочные выпрямители состоят из трехфазного понижающего трансформатора, выпрямительного моста, собранного из кремниевых полупроводниковых диодов по трехфазной мостовой схеме, и дросселя (рис. 13.14) [2, 4, 6]. Падающая внешняя характеристика выпрямителя обеспечивается повышенной индуктивностью рассеяния питающего трансформатора, которая регулируется за счет изменения расстояния между катушками его первичной и вторичной обмоток; при этом осуществляется плавное регулирование сварочного тока. Выпрямитель имеет два диапазона сварочного тока соответственно двум схемам соединения обмоток трансформатора – диапазон больших токов при схеме соединения треугольником и малых токов при схеме соединения звездой. Эта же задача может быть решена заменой в выпрямительном мосте диодов тиристорами, управляемыми путем подачи на них управляющего напряжения 0...10 В.

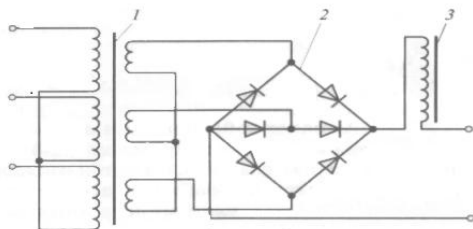


Рис. 4.14. Схема трехфазного выпрямителя: 1 – понижающий трансформатор, 2 – выпрямительный мост, 3 – дроссель

Для ручной *дуговой сварке* по методу Бенардоса применяют угольные или графитовые электроды диаметром 6...30 мм, длиной 200...300 мм. Для сварки по методу Славянова используют металлические электроды, имеющие диаметр 1,6...12 мм и длину 150...450 мм. Сварку в инертных газах осуществляют вольфрамовыми электродами диаметром 1...6 мм. При сварке металлический стержень выполняет функции электрода и присадочного материала.

Сварка «голыми» электродами не дает удовлетворительных результатов вследствие малой устойчивости горения дуги и плохого качества шва. Поэтому электрод обмазывают покрытиями.

Электродные покрытия подразделяются на две группы: стабилизирующие (ионизирующие) и качественные. К первой группе относят тонкие покрытия, составляющие 1- 5 % от массы электродного стержня. Назначение этих покрытий — сделать более устойчивым горение дуги. Распространение получило меловое покрытие, состоящее из тонкого порошка мела, скрепленного в прочный слой жидким стеклом. Известно, что кальций и его соединения имеют низкий потенциал ионизации, легко ионизируются в газовом промежутке дуги и дают высокую степень ионизации при низких температурах.

Качественные покрытия, наносимые на стержень (толщина 1...3 мм); предназначены для получения сварных швов с высокими механическими свойствами и обеспечения устойчивости горения дуги. В состав покрытия входят компоненты, подразделяемые на следующие группы: шлакообразующие, газообразующие, раскисляющие, легирующие, ионизирующие и связующие.

Типы электродов. Стальные электроды в соответствии с ГОСТ 9466-75 подразделяют на группы в зависимости от свариваемых сталей: а) углеродистых и легированных конструкционных; б) легированных теплоустойчивых; в) высоколегированных с особыми свойствами. Отдельную группу составляют электроды для наплавки поверхностных слоев деталей (например, из чугуна).

Процесс сварки состоит из ряда последовательных операций, в результате которых формируется шов.

Ручная сварка выполняется рабочим (сварщиком) вручную без применения механизмов. Сварочный пост для ручной сварки должен иметь следующее оборудование и приспособления: распределительный щит, оснащенный амперметром для измерения силы тока, вольтметром для измерения напряжения сварочной цепи и сигнальной лампой; сварочный агрегат; рабочий стол; кабину или ширму; электрододержатель; гибкий кабель для подвода тока; электроды; сборочно-сварочные приспособления; молоток и щетку. Сварщика необходимо обеспечить спецодеждой (брезентовым костюмом, сапогами, брезентовыми или кожаными рукавицами) и предохранительным щитком или шлемом со специальными темными стеклами для защиты глаз и лица от действия инфракрасных и ультрафиолетовых лучей, излучаемых дугой.

Основными параметрами режима ручной дуговой сварки являются диаметр электрода и сила сварочного тока. Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого изделия, слоя шва и положения швов в пространстве. Сила сварочного тока зависит от диаметра электрода

$$I_{св} = K \cdot d_э,$$

где $I_{св}$ - сварочный ток, А; $d_э$ - диаметр электрода, мм; K - коэффициент, А/мм, равный 40...60 для электродов со стержнем из низкоуглеродистой стали и 35...40 - для электродов со стержнем из высоколегированной стали; $d_э$ - диаметр стержня электрода (мм), который выбирают, исходя из толщины h свариваемых стальных элементов (пластин):

h , мм	1 - 2	3 - 5	4 - 10	12 - 24 и более
$d_э$, мм	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6.

При *автоматической дуговой сварке* все основные операции процесса (зажигание дуги, подача сварочной проволоки к изделию, поддержание постоянной длины дуги и перемещение дуги по направлению сварки) механизированы, а защита расплава от атмосферного воздуха в зоне сварки осуществляется с помощью порошкообразного вещества (флюса) или с помощью защитных газов.

Главной частью установки для автоматической сварки является сварочная головка. Сварочная головка с плавящимся электродом применяется с автоматическим регулированием дуги главным образом по напряжению и с использованием принципа саморегулирования - с постоянной скоростью подачи сварочной проволоки. Скорость подачи проволоки примерно равна скорости ее плавления, в результате чего длина дуги в процессе сварки остается практически постоянной. Современные автоматы позволяют поддерживать длину дуги в пределах $\pm (0,2...0,3)$ мм, что невозможно при ручной сварке.

Основными целями совершенствования электрической дуговой сварки являются повышение качества и надежности сварного соединения, повышение производительности.

Эти задачи наиболее эффективно решаются за счет механизации или автоматизации подачи электродной проволоки в зону сварки, а также за счет увеличения сварочных токов.

При автоматической сварке производительность повышается в 2...8 раз по сравнению с ручной дуговой сваркой.

По роду *защиты зоны дуги* от окружающего воздуха различают: способ сварки голым электродом или электродом со стабилизирующим покрытием; способ сварки покрытыми электродами; способ сварки под слоем флюса; способ сварки в защитных газах.

Сварка под флюсом отличается однородностью металла шва по химическому составу, улучшенной формой и постоянством размера шва.

При автоматической дуговой сварке под флюсом перемещение сварочной головки вдоль сварного шва и подача электродной проволоки в зону сварки механизированы (рис. 4.15).

Слой флюса толщиной 30...50 мм используется для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха, раскисления и легирования расплавленного металла, повышения устойчивости горения дуги. Благодаря наличию флюса в качестве электрода используется непокрытая электродная проволока, которую автоматически подают в дугу и перемещают вдоль шва с помощью механизмов подачи и перемещения.

Автоматическая сварка под слоем флюса (рис. 4.15) приводит к повышению производительности труда по сравнению с

ручной сваркой в 3...6 раз, а сварка на повышенных режимах - в 15...20 раз. Повышение силы тока позволяет сваривать заготовки значительной толщины без разделявания кромок и увеличить количество наплавляемого металла. При этом слой флюса препятствует выплескиванию расплава из сварочной ванны и уменьшает потери на угар.

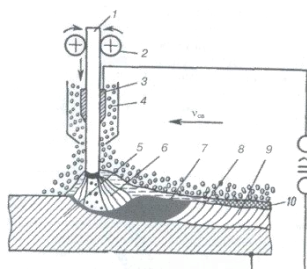


Рис. 4.15. Схема автоматической сварки под слоем флюса:
 1 - электрод; 2 - механизм подачи проволоки; 3 - токоподвод;
 4 - флюс; 5 - основной металл; 6 - сварочная дуга; 7 - сварочная ванна; 8 - шлаковая ванна; 9 - шов; 10 - шлаковая корка

Для защиты электрода, зоны дуги и сварочной ванны используются не только флюс, но и струя защитного газа.

При *сварке в атмосфере защитного газа* (рис. 4.16) локальная (местная) защита создается потоком газа 1, который истекает из сопла 2, расположенного концентрически относительно сварочного электрода 3. При этом используют керамическое или медное охлаждаемое водой сопло.

Газовая защита применяется при сварке плавящимися и неплавящимися электродами. Роль газа сводится в основном к физической защите сварочной ванны от окружающего воздуха.

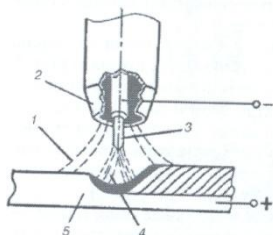


Рис. 4.16. Схема дуговой сварки в атмосфере защитных газов:
 1 - поток газа; 2- сопло; 3 -электрод; 4 - электрическая дуга; 5 - за-
 готовка

Для защиты используются инертные и активные газы. Наибольшее промышленное применение имеют сварка в среде углекислого газа (диоксид углерода CO_2 .) и аргонодуговая (Ar) сварка.

Сварка в среде углекислого газа - наиболее дешевый способ по сравнению с другими видами сварки в защитных средах. Дуга горит между изделием и электродной проволокой, подаваемой через специальную газозлектрическую горелку, в которую поступает из баллона углекислый газ, предварительно пропущенный через осушитель. Углекислый газ защищает дугу и сварочную ванну от воздуха. Сварку производят постоянным током обратной полярности для устранения пористости наплавленного металла. При этом достигается высокая производительность (до 18 кг/ч). Расход углекислого газа составляет 8...20 л/мин.

Электродная проволока содержит повышенное содержание марганца и кремния для раскисления сварочной ванны, расплав которой окислен углекислым газом. Сварка в углекислом газе применяется для изделий из малоуглеродистой стали, заварки дефектов стальных отливок, наплавки изношенных деталей и т.п. Пластичность наплавленного металла при сварке в углекислом газе может быть ниже, чем при сварке под слоем флюса.

Аргонодуговую сварку осуществляют неплавящимся (вольфрамовым - рис. 4.17) [2, 5] или плавящимся электродами.

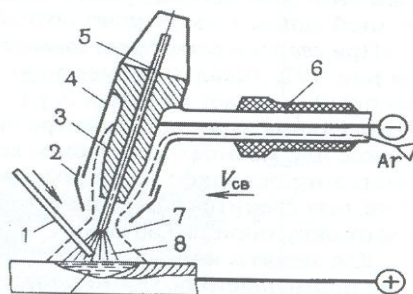


Рис. 4.17. Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом: 1- присадочный пруток; 2 - сопло; 3- токоподводящий мундштук; 4 -

корпус горелки; 5- вольфрамовый электрод; 6- рукоять горелки; 7- атмосфера защитного газа; 8- сварочная дуга

Аргонодуговую сварку применяют для тугоплавких и цветных металлов, а также легированной и высоколегированной сталей (узлы летательных аппаратов, атомных установок, химических аппаратов и т.п.).

При необходимости заполнения сварного шва большим количеством расплавленного металла применяют электрошлаковую сварку. Этот метод сварки находит применение в тяжелом машиностроении при изготовлении сварно-литых и сваркованных конструкций станин и деталей прессов, молотов, в производстве толстостенных котлов высокого давления и при изготовлении крупногабаритных конструкций (барабанов паровых котлов, корпусных деталей прессов и прокатных станов, колес гидравлических турбин и промышленных тракторов).

Электрошлаковая сварка (ЭШС) является процессом соединения металлических изделий, при котором шлак, получающийся из гранулированного флюса, нагревается до температуры, превышающей температуру плавления основного металла и электродной проволоки.

Первоначально процесс ЭШС протекает так же, как и при дуговой автоматической сварке под слоем флюса. Процесс сварки начинается с зажигания и поддержания мощной электрической дуги (одной или нескольких) под слоем флюса. После образования ванны из жидкого шлака достаточной глубины процесс дуговой сварки превращается в электрошлаковый. Горение дуги прекращается, а оплавление кромок изделия и расплавление электрода происходят за счет теплоты, выделяющейся электрическим током в соответствии с законом Джоуля-Ленца при прохождении через жидкий шлак к металлу, и теплоты, выделяемой на контактах (жидкая фаза-металл).

Расплавленные основной и электродный металл образуют под шлаком ванну из жидкого металла, который после затвердевания прочно соединяет кромки свариваемых изделий.

ЭШС позволяет сваривать изделия практически неограниченной толщины за один проход, обеспечивает большую произ-

водительность и высокое качества шва, снижает трудоемкость и стоимость работ

При ЭШС основной и присадочный металл расплавляются теплом, выделяющимся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак (рис. 4.18). В пространство между кромками свариваемых деталей 1 и 2 подается флюс 4 и механизмом подачи - сварочная проволока 6.

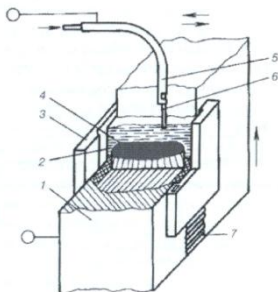


Рис. 4.18. Схема ЭШС: 1, 2- свариваемые изделия; 3 - приставная планка; 4 - флюс; 5 - механизм подачи проволоки; 6 -электрод; 7 - сварной шов

Сварка начинается с возбуждения дуги под слоем флюса между сварочными проволоками 6 и приставной планкой 3. При расплавлении флюса и образовании шлаковой ванны сварочные проволоки погружаются в расплавленный шлак и горение дуги прекращается. Однако ток продолжает течь через расплавленный шлак и тепло, выделяющееся в нем, расходуется на дальнейшее плавление флюса, кромок свариваемых изделий и присадочного металла, в результате охлаждения которого формируется сварной шов 7.

Сварку выполняют автоматами с вертикальным перемещением со скоростью образования шва.

В настоящее время широкое распространение получила микроплазменная сварка (ручная и автоматическая), позволяющая сваривать детали толщиной 0,1...0,5 мм, которую, как и лазерную сварку, относят к специальным видам сварки.

С помощью микроплазменной сварки изготавливают изделия типа сильфонов, тонкостенных трубопроводов, деталей приборов из легированных сталей, алюминиевых, титановых сплавов, некоторых тугоплавких металлов. При сварке титановых спла-

вов и тугоплавких металлов необходима дополнительная защита металла от окисления. Источники питания для микроплазменной сварки позволяют вести процесс в обычном и импульсном режимах.

Для плазменной сварки в качестве источника нагрева используют сжатую дугу. Для вещества в состоянии плазмы характерно хаотичное движение оголенных ядер и оторванных от них электронов. Установлено, что плазменное состояние вещества представляет собой источник огромной энергии. В этом случае вещество, перешедшее из газообразного состояния в состояние плазмы, имеет температуру порядка нескольких десятков миллионов градусов.

Для обработки металлов обычно используют температуры 10000...30000°C, которые достигаются при сильной ионизации газов, т.е. в случае, когда атом освобождается от 1...2 электронов со своей внешней оболочки, причем такая среда далека от истинной плазмы. Однако в сварочной терминологии такое состояние принято условно называть *плазмой*.

Для получения ионизированного потока газов (плазмы) обычно используют дуговой разряд, возникающий между вольфрамовым электродом 1 и соплом специальной горелки 3 или вольфрамовым электродом 1 и металлом заготовки 5 (рис. 4.19). Дуга горит в замкнутом цилиндрическом канале 4, стенки которого интенсивно охлаждаются водой. Через этот канал под давлением подают инертный газ. Вследствие сжатия газового проводника силами магнитного поля и охлаждения наружного столба дуги стенками канала появляется центральная тонкая струя 6 с высокой степенью ионизации, большим избыточным давлением и высокой температурой, указанной выше.

Плазменная дуга обладает большей тепловой мощностью в сравнении с плазменной струей. Ее используют для сварки и резки тугоплавких металлов (титан, никель, молибден, вольфрам), а также резки цветных металлов (медь, алюминий).

В отличие от автоматической сварки под флюсом, где основная доля мощности затрачивается на плавление электрода, при плазменной сварке почти вся мощность отводится в виде теплового потока в деталь.

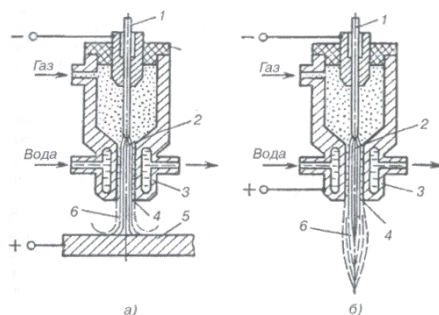


Рис. 4.19. Схема сварки плазменной дугой: *а* - прямого действия; *б* - косвенного действия; 1 - вольфрамовый электрод; 2 - дуга; 3 - сопло горелки; 4 - канал сопла; 5 - изделие (заготовка); б - плазменная дуга

Из-за относительно больших потоков теплоты в деталь при равных мощностях производительность при плазменной сварке меньше, чем электрической дуговой сварке [5]. Однако для плазменной сварки характерно применение малых мощностей, что дает ей преимущество при выполнении сложных технологических работ с мелкими деталями из тугоплавких металлов.

Лазерная сварка нашла применение в радиоэлектронике при изготовлении электронных приборов. При этом для сварки использовались лазеры с твердым рабочим телом, работающие в импульсном режиме. Имея сравнительно небольшую мощность и низкий коэффициент полезного действия (КПД), подобные лазерные установки не могли найти применения для изготовления конструкций. Однако создание мощных газовых лазеров непрерывного действия, имеющих более высокий КПД, чем твердотельные, внесло существенные коррективы в развитие лазерной сварки, в том числе в расширение использования ее в промышленности.

При выборе лазерной сварки необходимо учитывать, что она обеспечивает высококонцентрированный нагрев до 10^{11} Вт/м², а размеры самого пятна соответствуют диаметру не более десятых долей миллиметра. Поэтому лазерная сварка позволяет получать швы с минимальным расплавлением металла, снижает напряжения и деформации в сварных конструкциях по сравнению с другими способами сварки. Необходимо принимать во внимание и такие качества лазерной сварки, как возможность

сварки вне вакуума, через прозрачные среды, в труднодоступных местах и т.п.

Особенности технологии лазерной сварки связаны в основном со стремлением снизить отражение луча от поверхности свариваемого изделия, исключить выброс расплава из сварочной ванны под воздействием паров интенсивно испаряющегося металла и выделяющихся из него газов; при сварке больших толщин металлов - с необходимостью защиты сварочной ванны от взаимодействия с воздухом. Отражение от металла уменьшают подбором необходимой формы импульса лазера, специальной обработкой поверхности или нанесением на нее покрытия. Выброс металла из сварочной ванны происходит при импульсном режиме сварки и определяется характером нагрева металла.

Для увеличения глубины проплавления без выплеска форма импульса должна быть такой, чтобы нагрев поверхности происходил очень быстро, а мощность импульса уменьшалась и оставалась постоянной на уровне, способном обеспечивать продвижение фронта плавления вглубь металла.

Импульсной лазерной сваркой сваривают между собой проволоку или проволоку с более массивными деталями, при этом лазерный луч позволяет вести сварку без зачистки контактов от изоляции, что увеличивает производительность сварки.

4.3. Материалы для сварки сталей, чугуна и цветных металлов

Основным наплавочным материалом при сварке сталей является специальная проволока. Применяют ее при автоматической электродуговой сварке под флюсом в качестве электрода.

Сварочную проволоку подразделяют на следующие группы: низкоуглеродистая (Св-08А и др.), легированная (Св-08ГС, Св-10Х5М и др. с содержанием легирующих элементов 2...10 %), высоколегированная (Св-10Х17Т, Св-06Х19Н10М3Т с содержанием легирующих элементов более 10 %) [1].

Марку проволоки выбирают в зависимости от материала свариваемых заготовок.

При ручной сварке применяют плавящиеся и неплавящиеся электроды. Плавящиеся электроды (металлические стержни из

сварочной проволоки) покрыты специальной обмазкой (стабилизующая, защитная и легирующая).

Металл электрода определяет его применение для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, легированных конструкционных сталей, легированных жаропрочных сталей, высоколегированных сталей с особыми свойствами, и также для наплавки сталями и сплавами с особыми свойствами.

В обозначение электродов для сварки материалов входит химический состав металла, например Э-12Х13, Э-09Мф и др.

По толщине покрытия электрода $d_э$, состоящего из обмазки, различают электроды:

с тонким М (когда отношение диаметра электрода D к толщине обмазки – $D/d_э < 1,2$);

со средним - С ($1,2 < D/d_э < 1,45$);

с толстым ($1,45 < D/d_э < 1,8$),

с особо толстым покрытием, когда $D/d_э > 1,8$.

Покрyтия могут быть кислыми, основными и рутиловыми, целлюлозными в зависимости от их применения для сварки сталей и сплавов.

Неплавящиеся электроды предназначены для возбуждения и поддержания горения дуги. Наиболее распространены вольфрамовые, угольные и графитовые электроды.

Помимо сварочной проволоки и электродов в качестве наплавочного материала используют пустотелые порошковые проволоки и лент, заполненные порошкообразным наполнителем, играющую ту же роль, что и обмазка электродов - защита металла и дуги, легирование материала шва. Металлом проволоки и ленты является низкоуглеродистая сталь.

Изолирование зоны сварки от атмосферы и легирование металла шва, а также формирование поверхности шва осуществляют сварочные флюсы. В зависимости от изготовления флюсы подразделяются на плавные (для лучшего формирования шва и легкого отделения шлаковой корки, покрывающего шов) и неплавные (керамические – флюс может легировать металл шва)

По назначению флюсы делят для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей (осуществляют раскисление шва – это высококремнистые марганцевые флюсы), и также для сварки

легированных и высоколегированных сталей (обеспечивают минимальное окисление легирующих элементов в шве – плавленные и керамические, фторидные флюсы).

Лучшую защиту от кислорода воздуха, чем электроды с покрытием и флюсы, обеспечивают защитные газы – нейтральные (аргон, гелий) и углекислый (CO_2) газы, которые подаются в зону сварки через специальные приспособления – сопла. В среде CO_2 производят сварку из углеродистых сталей, при этом образуются оксиды железа, что определяет использование сварочной проволоки с повышенным содержанием раскислителей (Mn и Si).

Сварку в среде инертных газов и их смесей используют для металлов и сплавов с высокой химической активностью (Ti, Al, Mg, Cu, а также коррозионно-стойких сталей).

Материалами для ЭШС является шлак, состоящий из плавикового шпата CaF_2 , глинозема Al_2O_3 , оксид кальция CaO и небольшого количества примесей, и обладающий высоким электрическим сопротивлением.

Сварка чугуна. При газовой сварке чугуна наплавочным материалом служат чугунные стержни диаметром 6...12 мм. Применяемый флюс, состоящий из равных долей кальцинированной соды и буры ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), наносят погружением нагретого прутка в порошок, периодическим подсыпанием в сварочную ванну.

Для стабилизации дуги электродуговой сварки, выполняемой при ремонтных работах, применяют стальные электроды с меловым покрытием.

Сварка цветных металлов. Для сварки меди и ее сплавов используют чаще газовую и дуговую сварку., для алюминия и его сплавов – дуговую.

При газовой сварки меди медных сплавов в качестве наплавочных материалов используют медь для меди, для латуней – латуни и бронзы того или близкого состава, содержащие раскислители (Si и P).

Флюсы для этих материалов – смесь буры и борной кислоты (H_3BO_3) в равных долях.

При электродуговой сварке применяют неплавящиеся (графитовые) и плавящиеся электроды. При сварке бронз в качестве

наплавляемого металла используют бронзы марок БрОФ9-0,3 или БрКМц3-1, флюс – смесь буры (94...96 %) и металлического магния (6...4 %). Для латуней – наплавляемым материалом служат латуни ЛК80-3 и ЛК62-0,5, флюс – смесь хлорида калия (50 %), криолита (35 %), хлорида натрия (12,5 %), древесного угля (2,5 %).

При сварке алюминия используют неплавящиеся (графитовые) и плавящиеся электроды.

В качестве наплавочного материала применяют сплав АК5 (95 % Al, 5 % Cu), флюса, состоящим из 28 % NaCl, 50 % KCl, 14 % LiCl, 8 % NaFCl.

4.4. Резка и наплавка. Пайка металлов

Термическая резка основана на использовании различных источников теплоты. К ним относятся газовое пламя, плазменная дуга, электронный и лазерный луч. Она позволяет разрезать металлы и сплавы самых разных толщин (от десятков миллиметров до долей миллиметра), любого химического состава, обеспечивать достаточно высокую точность и чистоту реза. Причем возможно осуществлять непрерывный процесс резки, прошивать отверстия в заготовках, производить поверхностную резку (снятие слоя металла с заготовки) [2].

Газокислородная резка базируется на нагреве металла в зоне реза кислородно-ацетиленовым пламенем (вместо ацетилена может использоваться и другое горючее, например пропан) до температуры его воспламенения. За счет экзотермической реакции окисления металла участок реза дополнительно нагревается и расплавляется, а оксиды удаляются кинетической струей режущего кислорода.

Для непрерывного процесса горения необходимо соблюдение определенных условий:

- контакт окислителя с неокисленным металлом поверхности;
- непрерывный подогрев неокисленного металла до температуры воспламенения;

- достаточно высокая концентрация кислорода в газовой фазе, вступающей в контакт с металлом.

Для получения качественной (гладкой) поверхности реза необходимо, чтобы разрезаемый металл соответствовал определенным требованиям:

источник теплоты должен обеспечить требуемую температуру для начала реакции сгорания металла, так же как и теплота, выделяемая при сгорании, должна быть достаточной, чтобы поддерживать непрерывный процесс резки;

температура горения металла должна быть ниже температуры его плавления, с тем, чтобы при горении сам металл не плавился;

температура плавления оксидов, образующихся в процессе резки, не должна быть выше температуры плавления разрезаемого металла;

оксиды и шлаки должны иметь хорошую текучесть, чтобы свободно удаляться из полости реза.

Всем этим требованиям удовлетворяют железо, углеродистые и низколегированные конструкционные стали при низком содержании углерода: температура плавления железа 1539 °С, горения -1200°С; температура плавления оксида железа 1370 °С.

Худшими характеристиками обладает медь: ее температура плавления 1083 °С, а оксида меди - 1230 °С. Совершенно не удовлетворяют условиям резки алюминий (его температура плавления 659 °С, а оксида Al_2O_3 - 2050 °С), магний (его температура плавления 651°С, а MgO - 2500 °С), хром и цинк.

Схема устройства ацетилено-кислородного резака приведена на рис.4.20.

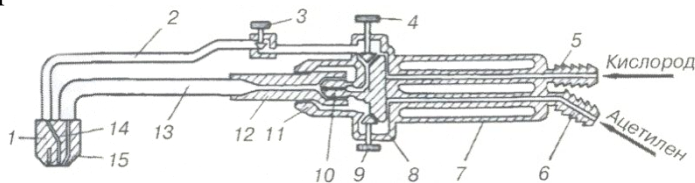


Рис. 4.20. Схема устройства ацетилено-кислородного резака:

1 - головка; 2 - трубка режущего кислорода; 3, 4, 9 - вентили; 5, 6 - ниппели; 7 - рукоятка; 8 - корпус резака; 10 - инжектор; 11 - накидная гайка; 12 - смесительная камера; 13 - наконечник; 14, 15 - внутренний и наружный мундштуки

Чем больше толщина разрезаемого металла, тем меньшая роль в тепловом балансе принадлежит подогревающему пламе-

ни. Основная часть тепловой энергии поступает от реакции окисления металла.

Кислородно-флюсовая резка. Высоколегированные хромистые, хромоникелевые стали, чугун, цветные металлы разрезать обычной кислородной резкой не удастся - в основном из-за образования оксидов в зоне реза, которые зашлаковывают рез, препятствуя нормальному процессу резки. При кислородно-флюсовой резке в зону реза вместе с режущим кислородом вводят порошкообразные флюсы. Их назначение - увеличить тепловыделение, образовать более легкоплавкие шлаки, легко удаляемые струей режущего кислорода. Для резки сталей применяют в качестве такого флюса порошок железа.

Плазменная резка. Для резки металлов применяют плазмотрон (рис. 4.21). Дуга может быть прямого действия, когда она возбуждается на обрабатываемом металле, и косвенного. В последнем случае вторым электродом служит сопло плазмотрона. Из сопла выдувается свободная струя плазмы.

Процесс резки заключается в проплавлении металла и удалении жидкого металла из полости реза плазменной струей. В качестве плазмообразующих газов могут быть использованы сжатый воздух, кислород, азотокислородная смесь, азот, аргоно-водородная смесь.

Выбор плазмообразующего газа определяется физико-химическими свойствами разрезаемого металла, необходимым качеством реза, стойкостью плазмотрона, стоимостью самих газов. Например, дорогую аргоноводородную смесь применяют в случае повышенного требования к качеству резания алюминия, меди и сплавов на их основе.

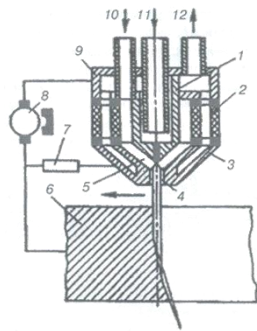


Рис. 4.21. Плазматрон для резки: 1 - электрод (катод); 2 - изолятор; 3 - формирующий наконечник; 4 - столб дуги; 5 - дуговая камера; 6 - разрезаемый металл; 7 - устройство зажигания дуги; 8 - источник тока; 9 - корпус; 10 - подача рабочего газа; 11 - подача охлаждающей воды; 12 - слив воды

Электронно-лучевая и лазерная резка. Они основаны на испарении металла под воздействием мощного, концентрированного источника нагрева. Электронно-лучевая резка осуществляется в вакууме, в то время как резка лазером может происходить в обычной атмосфере. Резка этими методами отличается высокой чистотой и точностью реза, небольшой зоной термического влияния на кромках разрезаемого материала. Однако установки для электронно-лучевой и лазерной резки имеют повышенную сложность и стоимость.

Наплавка - это процесс нанесения слоя металла или сплава на поверхность изделия. Она позволяет получать детали с поверхностью, отличающейся от основного металла, например, жаропрочностью и жаростойкостью, высокой износостойкостью при нормальных и повышенных температурах, коррозионной стойкостью и т. п. Наплавка может производиться как при изготовлении новых деталей, так и (особенно широко) в ремонтно-восстановительных работах, существенно удлиняя срок эксплуатации деталей и узлов и обеспечивая этим высокий экономический эффект.

Существуют разнообразные способы наплавки: ручная дуговая наплавка электродами со стержнями и покрытиями специальных составов, автоматическая наплавка под флюсом, наплав-

ка плавящимся и неплавящимся электродом в среде защитных газов (аргона), плазменная наплавка, электрошлаковая наплавка, электронно-лучевая и лазерная наплавка, наплавка полым электродом в вакууме и др.

Существенным показателем эффективности того или иного способа наплавки является степень перемешивания при наплавке основного металла и присадочного: чем она меньше, тем ближе будут свойства наплавленного слоя к заданным.

При *напылении* расплавленные по всему объему или по поверхности частицы материала будущего покрытия направляются на поверхность нагретой заготовки.

По мере повышения стоимости объемного легирования и стремления получить требуемые эксплуатационные свойства более экономичным способом (легированием поверхности) напыление становится все более предпочтительным.

Для напыления используют следующие источники теплоты: газовое пламя, плазму, ионный нагрев, нагрев в печах, лазер и др.

Наибольшее распространение получили процессы газопламенного и плазменного напыления. Получаемое таким методом покрытие имеет высокую адгезию к поверхности детали за счет активных диффузионных процессов, происходящих в период достаточно длительной выдержки в печи при высокой температуре.

Пайка основана на том, что металлы в расплавленном состоянии способны образовывать между собой сплавы, смачивать поверхности металлических соединений и прилипать к ним.

При пайке в зазор между нагретыми соединяемыми деталями вводится расплавленный материал, называемый припоем. Припой, смачивая поверхности деталей, соединяет их после охлаждения и затвердевания. Основной металл и припой, взаимно растворяясь друг в друге, обеспечивают высокую прочность соединения, одинаковую (при качественном выполнении пайки) с прочностью целого сечения основной детали.

Широкое применение пайки в машиностроении объясняется отсутствием плавления и незначительным нагревом основного металла, что сохраняет его физические и механические свойства. При пайке не возникают внутренние напряжения в соедине-

ниях, поэтому отсутствует коробление деталей, обычное при сварке. Поверхность соединения получается достаточно чистой и не требует в большинстве случаев последующей обработки.

Наиболее широко пайку применяют в электро- и радиотехнике и приборостроении. В этих отраслях промышленности пайку производят для создания механически прочного, иногда герметичного, шва или для получения постоянного (нескользящего или разрывного) электрического контакта с небольшим переходным сопротивлением.

Различают два основных вида пайки — пайка твердыми припоями на основе серебра, меди и других металлов (с температурой плавления 500...1100 °С) и пайка мягкими припоями на основе сплавов олова, свинца и др. (с температурой плавления до 400 °С).

Твердые припои обладают значительной механической прочностью (до 500 МПа), а мягкие — имеют невысокий предел прочности (50...70 МПа).

К мягким припоям (температура плавления до 400 °С) относятся припои оловянно-свинцовые (марки ПОС) с содержанием олова Sn от 18 (ПОС - 18) до 90 % (ПОС - 90), некоторые марки ПОСов содержат сурьму (Сu) в количестве 0,5-5 %; их называют сурьмянистыми и маркируют — ПОССу. Самым легкоплавким припоем ($T_{пл} = 60,5$ °С) является сплав Вуда, содержащий Bi – 25 %, Pb – 25 %, Sn -12,5 %, Cd – 12,5 %. Мягкие припои в качестве основных элементов содержат олово и свинец, а припой марки ПОС-30 имеет в своем составе 68,5 % Pb; 29,5 % Sn; 1,8 % Sb; 0,2 % примесей и может быть использован для пайки изделий из цинка, стали, латуни, включая лужение подшипников.

Химическим составом определяется область их применения. Твердые медно-цинковые припои маркируются буквами ПМЦ-42, где цифра обозначает среднее содержание меди в припое; состав этого припоя следующий: 42 % Cu; 55,4 % Zn; 0,5 % Pb; 1,5 % Sn; 0,1 % Sb; 0,5 % примеси, а область применения — пайка изделий из латуни и бронзы. Твердые серебряные припои имеют маркировку ПСр-25; ПСр-45 и ПСр-65, в которых цифра обозначает содержание серебра в припое. Кроме серебра, подобные припои содержат и другие элементы. Например, припой

ПСр-45 содержит (в %): Ag - 45; Cu - 30; Zn - 24,2; Pb - 0,3; примеси - 0,5 и применяется для пайки изделий из меди и бронзы.

В полупроводниковой технике широко используют припой твердые припои на основе золота Au (Зл), например марки ПЗлМ94В ($T_{пл} = 990$ °С; Au – 94 %, Cu – 6 %).

Припой применяют в виде прутков, лент, дроби и паст. Для хорошего смачивания поверхности основного металла необходима полная чистота последней.

Для удаления оксидов с поверхности паяемого материала и припоя и предотвращения их образования в процессе пайки применяется вспомогательный материал, называемый паяльным *флюсом*. Флюсы растворяют и удаляют окислы с паяемых поверхностей, защищают основной металл и расплавленный припой от окисления, уменьшают поверхностное натяжение расплавленного припоя и обеспечивают ему лучшую растекаемость и смачивание соединяемых поверхностей. Флюсы делят на несколько групп.

Активные или кислотные – получают на основе соляной кислоты, хлористых и фтористых солей металлов и др. после пайки остатки этих флюсов вызывают коррозию, поэтому их необходимо полностью удалить. При монтажной пайке электро- и радиоприборов применение кислотных флюсов недопустимо.

Бескислотные – канифоль, а также ее спиртовой раствор.

Активированные – флюсы на основе канифоли с небольшими добавками активаторов: солянокислого или фосфорнокислого анилина, салициловой кислоты и т.т.; можно применять без предварительного удаления окислов, но с обязательным обезжириванием паяемых поверхностей.

Антикоррозионные – это флюсы, не вызывающие коррозию. Их производят на основе фосфорной кислоты с добавлением различных органических веществ и растворителей или на основе органических кислот.

Бесфлюсовую пайку на воздухе и пайку алюминия можно производить, используя ультразвуковой паяльник. В этом случае окисные пленки металлов разрушаются в результате колебания рабочей части паяльника с ультразвуковой частотой.

Свойство материалов образовывать паяное соединение при заданном режиме пайки называется *паяемостью*.

Пайкой можно изготавливать сложные по конфигурации узлы и целые конструкции, состоящие из нескольких деталей, за один производственный цикл (нагрев), что позволяет рассматривать пайку (в отличие от сварки) как групповой метод соединения материалов и превращает ее в высокопроизводительный технологический процесс, легко поддающийся механизации и автоматизации. Виды основных соединений представлены на рис. 4.22.

Пайка уменьшает, а иногда полностью исключает остаточные напряжения и деформации. К числу очень важных преимуществ пайки следует отнести возможность соединения разнородных металлов, а также металлов с неметаллами. С помощью пайки можно получать неразъемные и разъемные соединения.

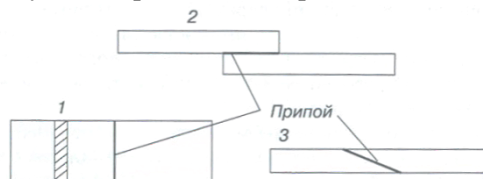


Рис. 4.22. Основные соединения при помощи пайки:
1 - стыковое; 2 - внахлестку; 3 - в ус

Последнее очень важно в производстве радиоэлектронной аппаратуры, когда возникает необходимость демонтажа при настройке или замене дефектных приборов, установленных на печатной плате. Возможность варьировать размеры соединяемых пайкой поверхностей (величины нахлестки) позволяет обеспечить равнопрочные с основным металлом соединения. При этом получается более благоприятная форма соединения с меньшей концентрацией напряжений, чем при контактной сварке.

Перечисленные выше преимущества пайки позволяют рассматривать ее как прогрессивный технологический процесс, находящий все более широкое применение в производстве автомобилей, тракторов, велосипедов, деталей различных машин, механизмов, изделий из листового металла и др.

Тестовые задания

52. Зависимость между напряжением и длиной дуги, имеющей жесткую характеристику, выражается формулой:

- а) $U_d = \alpha + \beta L_d$;
- б) $U_d = \alpha - \beta L_d$;
- в) $U_d = \alpha \beta L_d$.
- г) $U_d = \alpha / (\beta L_d)$.

53. При сварке переменным током используют преимущественно сварочные:

- а) генераторы;
- б) выпрямители;
- в) трансформаторы;
- г) горелки.

54. Какая внешняя характеристика источника тока необходима для качественной сварки:

- а) падающая;
- б) пологопадающая;
- в) жесткая;
- г) возрастающая.

55. Диаметр электрода выбирают в зависимости:

- а) от силы тока;
- б) от напряжения на дуге;
- в) от марки стали;
- г) от толщины свариваемого металла.

56. Основным признаком, характеризующим свариваемость металлов, является их склонность к образованию:

- а) ликвации;
- б) неоднородности;
- в) ужимин;
- г) трещин.

57. К электрическим видам сварки относятся:

- а) термитная;
- б) дуговая;
- в) плазменная;
- г) электрошлаковая;
- д) диффузионная.

58. При автоматической сварке защита расплавленного металла от воздействия воздуха осуществляется с помощью порошкообразного вещества, называемого:

- а) окислителем;
- б) раскислителем;
- в) модификатором;
- г) флюсом.

59. При ЭШС в зону сварки подается сварочная проволока, а также:

- а) чугун или сталь;
- б) алюминий;
- в) раскислитель;
- г) флюс.

60. При ЭШС сварка начинается с возбуждения дуги под слоем:

- а) чугуна или стали;
- б) модификатора;
- в) раскислителя;
- г) флюса.

61. При дуговой сварке в защитных газах используют в основном аргон, а также:

- а) гелий;
- б) кислород;
- в) ацетилен;
- г) диоксид углерода.

62. Сварка, основанная на быстром нагреве и механическом сжатии разогретых металлических изделий, называется:

- а) электроконтактной;
- б) механической;
- в) диффузионной;
- г) термитной.

63. В газовой сварке используются горючие газы:

- а) аргон, метан;
- б) ацетилен, водород;
- в) азот;
- г) пропан, пары керосина.

64. Низкоуглеродистые конструкционные стали обладают свариваемостью:

- а) удовлетворительной;
- б) ограниченной;
- в) плохой;
- г) хорошей.

65. Чугуны обладают технологической свариваемостью:

- а) удовлетворительной;
- б) ограниченной;
- в) плохой;
- г) хорошей.

66. Паяное соединение образуется в результате взаимодействия основного металла и...

- а) припоя;
- б) флюса;
- в) электрода.

67. К внутренним сварочным дефектам в сварочном шве относятся:

- а) поры, шлаковые включения;
- б) наплывы;
- г) непровары;
- д) несплавления;
- е) трещины.

68. К наружным сварочным дефектам в сварочном шве относятся:

- а) наплывы;
- б) подрезы;
- в) дефекты структуры;
- г) прожоги.

5. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК. ЭЛЕКТРОФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОБРАБОТКИ

5.1. Способы обработки резанием. Режущие инструменты

Обработка металлов резанием (ОМР) заключается в срезании с поверхности заготовки слоя металла, называемого припуском, с целью получения изделия требуемых геометрической формы, размеров и шероховатости поверхностей.

Классификация способов обработки резанием может быть осуществлена по геометрической определенности (или неопределенности) режущих элементов, расположению обработанных поверхностей (внутренних или внешних), направлению движений резания и подачи, способам установки и закрепления заготовок, особенностям конструкции режущих инструментов и др.

Металлы обрабатывают резанием на металлорежущих станках (МРС) при помощи различных режущих инструментов. Заготовками для деталей служат отливки из чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов, а также поковки и т.д.

Схемы некоторых способов лезвийной и абразивной обработки металлов представлены на рис.5.1.

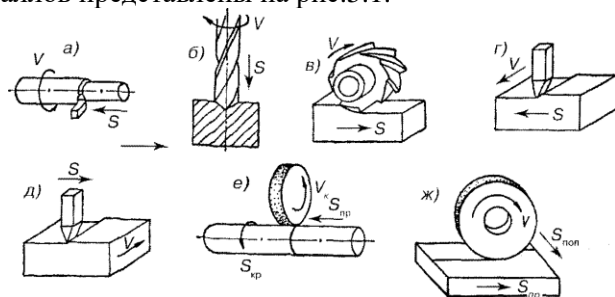


Рис. 5.1. Основные способы обработки металлов резанием: а — точение; б — сверление; в — фрезерование, г — строгание на станках поперечно-строгальных; д — строгание на продольно-строгальных станках; е — шлифование наружное круглое; ж — плоское шлифование

В процессе обработки резанием различают рабочее движение двух видов:

v — главное движение, определяющее скорость отделения стружки (это линейная скорость точки, лежащей на обрабатываемой поверхности, м/мин);

s — движение подачи, обеспечивающее врезание режущей кромки инструмента в новые слои металла (это перемещение резца за один оборот заготовки, мм). Скорость подачи меньше скорости главного движения.

Таким образом, количественной характеристикой главного рабочего движения является скорость резания v , а вспомогательного — подача s . Эти две величины и глубина резания t , равная толщине слоя материала, снимаемого с заготовки, определяющие производительность и себестоимость обработки, а также поперечное сечение среза (ширина и толщина среза) входят в состав режимных параметров.

При различных видах механообработки характер рабочих движений меняется. Например, при точении поверхности резцом главное рабочее движение (вращательное) совершает заготовка, а поступательное движение подачи — резец. При сверлении рабочие движения чаще выполняет сверло.

Под *точением* обычно имеют в виду обработку резцом с замкнутым (чаще всего круговым) движением резания и любым движением подачи в плоскости, перпендикулярной направлению движения резания (рис. 5.1, а).

К процессам обработки отверстия с замкнутым круговым движением резания и движением подачи в направлении оси вращения могут быть отнесены *сверление* (рис. 5.1, б), *зенкерование*, *развертывание*, *расточивание* цилиндрических поверхностей. При этом скорости движения резания и подачи перпендикулярны.

Сверление — это обработка отверстия, как правило, в сплошном материале с замкнутым кругообразным движением резания при движении подачи инструмента вдоль оси вращения (рис. 5.1, б).

Аналогичные определения могут быть даны для зенкерования и развертывания. Отличия состоят лишь в том, что производится обработка отверстий, ранее полученных другими способами (литьем, давлением, сверлением). Несмотря на различия в конструкции режущих инструментов (зенкеров, разверток), они

могут быть использованы на одних и тех же металлорежущих станках.

Строгание — способ лезвийной обработки при прямолинейном возвратно-поступательном движении резания и дискретном прямолинейном движении подачи, осуществляемом в направлении, перпендикулярном движению резания (рис. 5.1, *г*).

Обработку инструментом, которому сообщается вращательное движение резания при любых направлениях подачи в плоскости, перпендикулярной оси вращения, называют *фрезерованием* (рис. 5.1, *в*). Фрезерование применяется также для обработки резьбы и зубьев.

Способы *шлифования* достаточно разнообразны (рис. 5.1, *е, ж*).

Шлифование — это обработка инструментом, имеющим много режущих элементов (зерен), геометрическая неопределенность которых образуется большим числом абразивных зерен из природных или синтетических шлифовальных материалов, случайным образом расположенных и сориентированных в абразивном инструменте (шлифовальном круге).

Процесс шлифования характеризуется весьма малыми значениями толщины слоя, срезаемого каждым зерном. Однако благодаря одновременному участию в процессе шлифования большого числа абразивных зерен может быть достигнута относительно высокая производительность резания и небольшая шероховатость обработанной поверхности.

По форме обрабатываемых поверхностей различают следующие виды шлифования: плоское (рис. 5.1, *ж*), круглое (рис. 5.1, *е*), винтовых поверхностей (резьбы), зубчатых колес, профильное, копировальное и вручную. По расположению рабочей поверхности шлифовального круга различают периферийное и торцовое шлифование, а по виду движения подачи — продольное или врезное. По способу крепления детали различают шлифование с закреплением детали и бесцентровое.

Режущий инструмент - это инструмент для обработки резанием со снятием заданного слоя припуска.

Лезвие режущего инструмента (режущий клин) - это клинообразный элемент режущего инструмента, включающий в себя переднюю, заднюю поверхности и режущую кромку, предна-

значенный для отделения (разрушения) заданного слоя материала (стружки).

Режущая рабочая часть режущего инструмента – это часть режущего инструмента, содержащая одно или несколько режущих лезвий и калибрующие элементы (при их наличии). Элементами режущей части инструмента являются (рис. 5.2):

передняя поверхность 1 , по которой сходит стружка;

задние (главная 3 и вспомогательная 2) поверхности, обращенные соответственно к поверхности резания и обработанной поверхности;

главная ab и вспомогательная av режущие кромки.

Кроме того, у резца имеется вершина a .

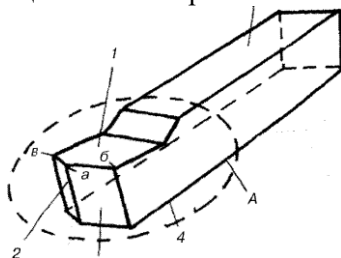


Рис. 5.2. Резец и его элементы: A — рабочая часть, B - тело резца; 1 - передняя поверхность; 2 - вспомогательная поверхность; 3 - главная поверхность; 4 - основание; ab - главная режущая кромка; av - вспомогательная режущая кромка

Геометрические параметры режущей (рабочей) части инструмента определяют пространственное положение инструмента относительно обрабатываемой заготовки.

Для определения геометрических параметров режущей части инструмента вводят понятие *базовых* (координатных) плоскостей: основной, резания, стружкообразования, рабочей, главной и вспомогательной секущих плоскостей.

Для определения углов резца исходными плоскостями являются плоскость резания и основная плоскость (плоскость, совпадающая с основанием стержня резца):

первая — касательная к поверхности резания и проходящая через главную режущую кромку резца;

вторая — плоскость, параллельная направлениям продоль-

ной и поперечной подач.

Резец имеет главные и вспомогательные углы, а также углы в плане. Все эти углы называют *углами заточки*.

Если провести главную секущую плоскость $N-N$ (рис. 5.3) перпендикулярно к проекции главной режущей кромки на основную плоскость, то можно рассмотреть в ней главный задний угол α , главный передний угол γ , угол заострения β и угол резания $\delta = \alpha + \beta$

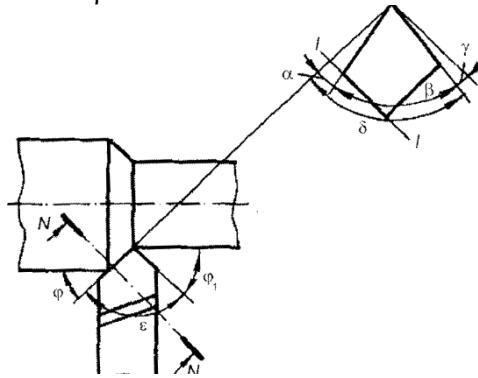


Рис. 5.3. Углы резца

Главный задний угол α образуется главной задней поверхностью и плоскостью резания; его принимают равным $6...12^\circ$.

Главный передний угол γ , получают при пересечении передней поверхности резца и дополнительной плоскости, перпендикулярной плоскости резания, проведенной через главную режущую кромку. Главный передний угол может быть положительным и отрицательным (от -10° до $+20^\circ$) в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала, материала резца и формы передней поверхности.

К углам резца в плане относят главный угол ϕ , вспомогательный угол ϕ_1 и угол при вершине ϵ . Эти углы резца влияют на его стойкость и скорость резания.

При срезании стружки с заготовки наблюдается пластическая деформация, выделение большого количества теплоты, наростообразование, упрочнение и т.п.

В зависимости от условий резания и обработки, свойств об-

рабатываемого материала, стружка может быть сливной, скалывания и надлома (рис.5.4).

Сливная стружка (рис. 5.4, а) получается при резании пластичных металлов и сплавов (малоуглеродистой стали, меди, алюминия и др.) с большими скоростями резания и малой толщиной срезаемого слоя. На ней трудно выделить отдельные элементы, она может быть в виде ленты или спирали. Сливная стружка, имея острые зазубренные края, может травмировать рабочего, загромождает проходы, трудно транспортируется и плохо брикетуется.

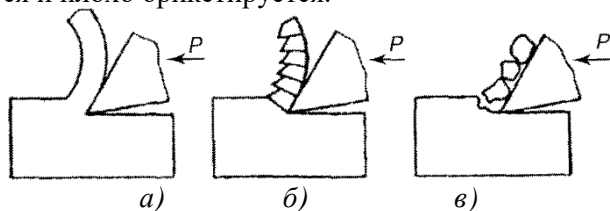


Рис.5.4. Виды стружки: а - сливная; б - скалывания; в - надлома

Все это заставляет применять различные методы стружкозаивания и стружкодробления, начиная от изменения геометрии инструмента и режимов резания вплоть до создания специальных устройств (экранные защитные стружколоматели, колебательные системы, создающие прерывистое резание, и т.п.).

Стружка скалывания (рис. 5.4, б) получается при обработке более твердых материалов с более низкими скоростями резания и большими подачами.

Стружка надлома (рис. 5.4, в) имеет отдельные, не связанные между собой элементы, получаемые за счет хрупкого разрушения срезаемого слоя при обработке твердых и непластичных материалов (чугун, бронза, ряд неметаллических материалов). При образовании стружки надлома очень трудно получить хорошую чистоту обрабатываемой поверхности, на которой остаются отдельные впадины.

Деформация вязких металлов передней поверхностью резца сопровождается во многих случаях образованием заторможенного слоя - *нароста*, имеющего высокую твердость вследствие сильного разогрева приваренного (прилипшего) к

передней поверхности инструмента. Нарост изменяет геометрию режущей части резца, а также толщину срезаемого слоя. В процессе резания нарост частично уходит со стружкой, частично приваривается к обработанной поверхности. Нарост значительно снижает качество обработанной поверхности и во многих случаях ведут к выкрашиванию режущей кромки резца.

Борьба с наростом ведется путем улучшения чистоты передней поверхности инструмента, увеличения передних углов, применения смазывающе-охлаждающих жидкостей и изменения скорости резания. Например, интенсивное образование нароста наблюдается при скоростях 10 - 40 м/мин (для обычных конструкционных сталей). Увеличение скорости до 80 - 100 м/мин всегда сопровождается повышением температуры в зоне резания, ведет к исчезновению нароста. Нарост не образуется и при низких скоростях резания - 5 - 6 м/мин.

Деформация металла в процессе резания не ограничивается зоной, непосредственно примыкающей к передней поверхности инструмента, а распространяется на впереди и нижележащие слои, увеличивая их твердость. Это явление носит название наклепа при резании. Глубина наклепанного слоя зависит от режима резания и при средних скоростях близка к толщине срезаемого слоя. С увеличением скорости резания глубина наклепа уменьшается. Явление наклепа связано с образованием остаточных напряжений в поверхностном слое, которые влияют на износостойкость и усталостную прочность, а в конечном итоге - на долговечность деталей машин.

В процессе резания металлов выделяется теплота. Основным источником образования теплоты при резании является работа, затрачиваемая на деформацию срезаемого слоя, трение стружки о переднюю поверхность инструмента и трение задней поверхности резца о поверхность резания.

Больше всего на температуру в зоне резания влияет скорость резания. Поэтому при больших скоростях резания, повышаются как температура стружки, так и температура резца.

На температуру резания оказывают также влияние подача, глубина резания, геометрия режущей части резца и его размеры. Нагрев режущего инструмента и обрабатываемой заготовки в ряде случаев оказывает большое влияние на точность обработки, в

частности на точность размеров обрабатываемой поверхности и точность их геометрических форм.

Поэтому при резании металлов используют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), уменьшающие трение между резцом и сходящей стружкой, резцом и заготовкой. Смазочно-охлаждающие жидкости, оказывая смазывающее действие; снижают работу, затрачиваемую на пластическое деформирование металла; отводят теплоту из зоны резания, охлаждая инструмент и деталь; препятствуют появлению нароста на трущихся поверхностях инструмента. Это приводит к уменьшению силы резания, улучшению качества обработанной поверхности, увеличению стойкости инструмента.

В зависимости от состава СОЖ разделяются на две группы:

жидкости, предназначенные в основном для охлаждения инструмента при обдирочных работах и увеличения его стойкости, а также повышения скорости резания. Это водные растворы минеральных электролитов (кальцинированная сода, нитрид натрия, жидкое стекло, антикоррозионные добавки и т. п.) и водные эмульсии (водные растворы эмульсолов, состоящие из коллоидных растворов органических кислот в минеральных маслах с антикоррозионными добавками);

жидкости, оказывающие смазывающее действие. Эти СОЖ обладают высокой маслянистостью и применяются при чистовых и отделочных операциях, когда требуется высокое качество обработанной поверхности. К ним относятся минеральные, растительные и животные масла, смеси минеральных масел с растительными и др.

Лезвийные режущие инструменты чрезвычайно разнообразны. Однако обобщенные определения геометрических параметров режущей части применимы для любых типов режущего инструмента.

Резцы являются наиболее распространенными режущими инструментами.

Резцы по *виду обработки* подразделяются на следующие типы: проходные и проходные упорные – для обтачивания цилиндрических и конических поверхностей; подрезные – для канавочного обтачивания плоских торцевых поверхностей; фасонные – для обработки поверхностей сложной конфигурации; про-

резные – для обтачивания кольцевых канавок; резьбовые – для нарезания резьбы; расточные – осуществляют обработку внутренних поверхностей; отрезные – для резания заготовок.

Резцы различают также по *технологическому назначению* – на токарные, строгальные, долбежные и т.д.

По *характеру обработки* резцы делят на черновые (обдирочные), получистовые и чистовые. По *форме* рабочей части они могут быть прямые, отогнутые, оттянутые и изогнутые. По *направлению подачи* резцы считают левыми или правыми; левые работают с продольной подачей слева направо, правые – наоборот. По *способу изготовления* резцы разделяют на целые, с приваренной встык рабочей частью, с приваренной или припаянной пластинкой из инструментального материала, со сменными пластинками. По *роду материалов* резцы разделяются на резцы из быстрорежущей стали, с пластинками из твердого сплава, с пластинками из металлокерамики и с кристаллами алмазов.

Сверла — осевые режущие инструменты, предназначенные для формирования отверстий в сплошном материале (сверление сквозных и глухих цилиндрических и конических отверстий, внутренних поверхностей), а также для рассверливания отверстий, предварительно полученных сверлением, литьем, обработкой давлением (рис. 5.5, а).

Сверла по конструкции делятся на перовые, спиральные (с винтовыми канавками), специальные (для сверления глубоких отверстий, кольцевые, комбинированные и др.).

Инструментами для увеличения диаметра отверстия являются зенкеры (цилиндрические, конические, торцевые), развертки (цилиндрические, конические, машинные и ручные), метчики и плашки (рис. 5.5).

Зенкеры — это осевые многолезвийные режущие инструменты для промежуточной или окончательной обработки отверстий, предварительно полученных сверлением, литьем или обработкой давлением, в целях повышения точности и уменьшения шероховатости обработанной поверхности.

Развертки — осевые многолезвийные режущие инструменты для окончательной обработки отверстий, применяют после обработки зенкером отверстия.

Фрезы – это многолезвийные (многозубые) режущие инструменты с вращательным относительно оси инструмента движением резания и любым движением подачи в плоскости, перпендикулярной оси вращения (рис.5.6). В процессе фрезерования в контакте с заготовкой, находится несколько лезвий, срезающих стружку переменной толщины, что обеспечивает высокую производительность фрезерования.

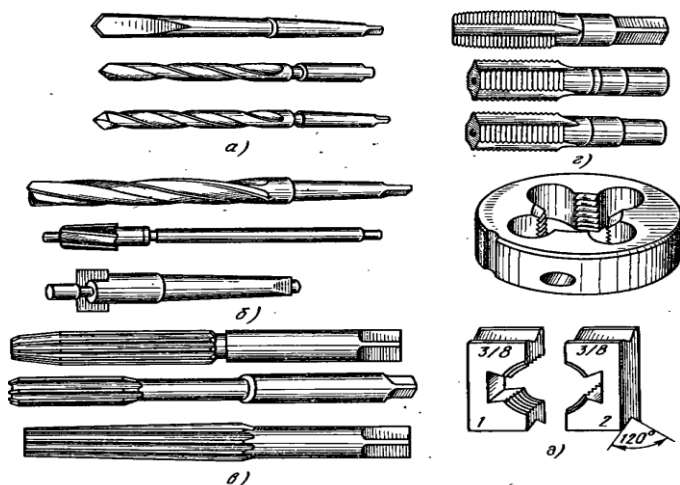


Рис. 5.5. Осевые режущие инструменты: *а* — сверла (перовое и спиральные), *б* — зенкеры (цельный, насадной и с вставным ножом), *в* — развертки (ручная цилиндрическая, машинная цилиндрическая и конусная), *г* — метчики, *д* — плашки (круглая цельная и квадратная раздвижная)

Фрезы подразделяются по конструкции режущих лезвий и способы их заточки; форме и расположению режущих кромок относительно оси вращения, положению зубьев относительно оси фрезы, способу крепления на станке.

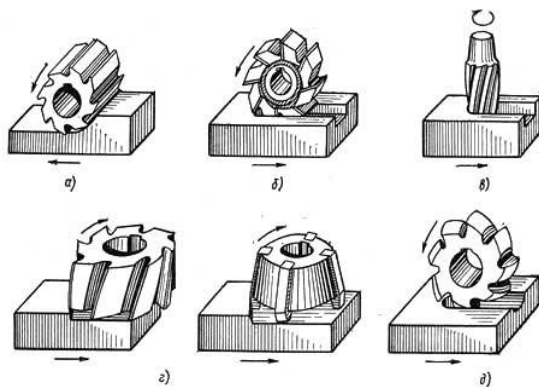


Рис.5.6. Виды фрез: а - цилиндрические, б - дисковые, в - концевые, г - торцовые, д – фасонные

Резьбонарезные инструменты разнообразны по конструкции, наибольшее применение получили резьбонарезные инструменты – резцы, гребенки, фрезы, метчики, плашки, резьбонарезные головки, используют также специальные комбинированные (сверло-метчик) и ступенчатые.

Абразивный инструмент – шлифовальные круги различной формы, абразивные бруски, головки, сегменты.

Износ поверхностей инструмента вызывает потерю его работоспособности. Изнашивание инструмента зависит от условий резания и может иметь различные механизмы – это тепловой отказ инструмента; адгезионное, диффузионное, абразивное и химико-окислительное изнашивание, а также образование усталостных трещин и разрушение.

Возникновение больших пластических деформаций термического характера свидетельствует о потере формоустойчивости режущего лезвия.

Абразивный износ - результат истирания, скалывания, срезания и смятия неровностей на контактных поверхностях режущего инструмента при относительном движении. Этот вид износа преобладает при обработке хрупких материалов, а также материалов с твердыми составляющими структуры. Обусловлен наличием в материале заготовки твердых частиц. Причиной абразивного износа могут быть заполненные песком литейные раковины.

Чаще наблюдается при работе инструментами из быстрорежущей стали, реже – твердосплавными инструментами.

Адгезионный износ заключается в непрерывно повторяющихся процессах схватывания и отрыва мельчайших частиц материала. Адгезионное взаимодействие между инструментальным и обрабатываемым материалами проявляется в возникновении межмолекулярных связей на поверхности соприкасающихся материалов. Движение стружки и заготовки относительно инструмента приводит к разрушению межмолекулярных связей и к образованию новых. Таким образом, зерна карбидов в твердых сплавах (или иные частицы инструментальных материалов) находятся под воздействием многократно повторяющихся (циклических) нагрузок. В результате через некоторое время достигается предел усталостной прочности и происходит микро разрушение частицы инструментального материала. При относительно невысоких температурах оно заключается в отрыве более крупных частиц (конгломератов) карбидов WC, TiC и связки твердого сплава, с повышением температуры удаляются все более мелкие частицы.

Инструментальный и обрабатываемый материалы имеют различную склонность к адгезии. С ростом температуры в области относительно низких температур уменьшается хрупкость твердых сплавов, увеличивается их сопротивление к циклическим контактными нагрузкам. При этом интенсивность адгезионного изнашивания может оставаться приблизительно одинаковой или даже уменьшаться. Однако при дальнейшем увеличении температуры уменьшается твердость инструментального материала, в результате чего интенсивность адгезионного изнашивания инструмента повышается.

Диффузионный износ превалирует при высоких контактных температурах. Скорость диффузии зависит от температуры и взаимной растворимости металлов друг в друге, а также концентрации диффундирующего вещества в металле-растворителе. При увеличении концентрации скорость диффузии снижается. Различные компоненты твердого сплава диффундируют в обрабатываемый материал с различной скоростью (углерод имеет наибольшую скорость диффузии, наименьшую – вольфрам, кобальт, титан).

Изнашивание инструмента приводит к росту сил трения,

вызывающих повышенную деформацию заготовки и инструмента. При этом снижается точность и изменяется форма обработанных поверхностей, увеличивается глубина наклепанного поверхностного слоя материала заготовки и повышается теплообразование в зоне резания. Допустимому изнашиванию инструмента соответствует его определенная стойкость.

Под *стойкостью резца* (инструмента) понимают время его непрерывной работы при заданном режиме резания до момента затупления. Стойкость инструмента, соответствующая определенной величине износа в направлении измерения размеров обрабатываемой поверхности: в радиальном - для резцов, сверл, разверток, протяжек; в осевом - для торцовых и концевых фрез - называется размерной стойкостью инструмента. Период размерной стойкости особенно важен при обработке деталей на автоматах и автоматических линиях.

На стойкость инструмента оказывают влияние следующие факторы: скорость резания и глубина резания, величина подачи; физико-механические свойства обрабатываемого материала и инструмента; геометрические параметры режущей части инструмента; СОЖ. Скорость резания - главный фактор, влияющий на стойкость резца. Поэтому обработку детали следует вести при расчетной скорости резания.

Обрабатываемость материалов характеризует совокупность качеств материалов, определяющих производительность обработки резанием. Под обрабатываемостью различных материалов понимают соотношение между скоростью резания и соответствующим фиксированным значением стойкости инструмента при обработке различных материалов. Исследование обрабатываемости материала включает в себя определение оптимальных марок инструментального материала применительно к различным способам обработки резанием, оптимальных геометрических параметров режущих инструментов, составов СОЖ, установление зависимостей сил резания, стойкости инструмента, шероховатости обработанной поверхности от условий резания и др.

Большое влияние на выбор оптимальной марки твердого сплава оказывают условия обработки (особенно значения глубины резания и подачи), жесткость технологической системы,

физико-механические свойства обрабатываемого материала и т. д.

Инструментальные материалы должны обладать: высокой твердостью и износостойкостью; высокой теплостойкостью (красностойкостью) - способностью сохранять режущие свойства при высоких температурах; высокой прочностью и ударной вязкостью; технологичностью и экономичностью - хорошей обрабатываемостью и минимальным содержанием легирующих элементов без ущерба для режущих свойств.

Рабочая часть режущего инструмента должна изготавливаться из недефицитного материала, имеющего большую твердость, повышенные механические характеристики, высокие теплостойкость и износостойкость. Твердость материала режущей части инструмента должна значительно превышать твердость материала обрабатываемой заготовки.

Высокие прочностные свойства и вязкость необходимы инструменту для сопротивления различным деформациям в процессе резания и способности противостоять ударным динамическим нагрузкам, возникающим при обработке заготовок из хрупких материалов или с прерывистой обрабатываемой поверхностью.

Для изготовления режущего инструмента применяют углеродистые инструментальные стали (У8А, У10А, У11А, У12А). Твердость их после термообработки (закалки в воде и отпуска при температуре 120...150 °С) достигает *HRC* 60...62. Инструментом, изготовленным из углеродистых инструментальных сталей, можно обрабатывать материалы с твердостью до *HRC* 30. Эти стали применяют для изготовления слесарного инструмента: напильников, зубил, метчиков, плашек, ножовочных полотен, отверток, ножиц и т.д.

Легированные инструментальные стали - это углеродистые инструментальные стали (ХВГ, 9ХС, 9ХВГ, ХВСГ, ХВ2 и др.). После термической обработки твердость этих сталей составляет *HRC* 62...64, теплостойкость 300...350 °С, допустимые скорости резания 0,25...0,5 м/с. Легированные стали по сравнению с углеродистыми имеют повышенную вязкость в закаленном состоянии. Эти стали обладают малой деформируемостью при закалке, что спо-

способствует их применению для сложнопрофильного инструмента. Из них изготавливают метчики, плашки, протяжки, развертки, фасонные резцы, фрезы, сверла и др. Однако они все более вытесняются быстрорежущими сталями и твердыми сплавами.

Быстрорежущие стали - это стали, содержащие много вольфрама (6...19 %) и меньшие добавки ванадия, кобальта, молибдена и др. элементов, имеющие твердость после термообработки HRC 62...65, которая сохраняется при 600...650 °С. Стали обладают повышенной износостойкостью, имеют теплостойкость 600...650°С и могут работать со скоростями до 2 м/с.

Кроме широко распространенных марок P9 и P18 (цифры показывают среднее содержание вольфрама), имеется ряд марок сталей с повышенным содержанием ванадия и кобальта: P18Ф2, P9К10, P18К5Ф2 и др.

Для изготовления инструментов, работающих в условиях черновой обработки, применяют вольфрамомолибденовые стали марок P9М4 и P6МЗ.

Режущие свойства инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали, можно повысить путем нанесения износостойких покрытий из хрома, карбидов вольфрама или титана, а также лазерной обработкой или электроискровым упрочнением.

Твердые сплавы состоят из карбидов тугоплавких металлов (вольфрама, титана, тантала), связанных металлическим кобальтом. Твердые сплавы применяют в виде пластин определенной формы и размера, изготавливаемых методом порошковой металлургии, т.е. прессованием и последующим спеканием при температуре 1500...1900 °С. Получаемые пластины припаивают к державкам и корпусам инструментов медными (латунными) припоями или крепят к ним механическим способом. Твердые сплавы обладают высокими износостойкостью, твердостью 86...92 HRA и теплостойкостью (800...1200 °С), позволяют вести обработку со скоростями резания до 15 м/с.

Твердые сплавы разделяют на три группы:

вольфрамовые, содержащие карбиды вольфрама (BK2, BK3, BK3M, BK4B, BK6-M, BK6, BK6B, BK8, BK8B, BK10, BK15, BK20, BK25);

титановольфрамовые, содержащие карбиды вольфрама и титана (ТЗОК4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В);

титанотанталовольфрамовые, состоящие из карбидов титана, тантала и вольфрама (ТТ7К12, ТТ7К15, ТТ8К6).

Основными недостатками твердых сплавов являются их хрупкость и недостаточная прочность при изгибе и растяжении. Поэтому режущие элементы инструмента необходимо располагать так, чтобы они, по возможности, работали на сжатие.

Режущие свойства твердых сплавов в значительной степени зависят от их структуры.

В последние годы разработаны твердые сплавы, не содержащие дефицитного карбида вольфрама. Он заменяется карбидами титана с добавками молибдена, никеля и других тугоплавких металлов. Это сплавы марок ТМ1, ТМ3, ТН-20, КНТ-16, карбидохромистые твердые сплавы КХН-20, КХН-30 и др. Безвольфрамовые твердые сплавы целесообразно применять при обработке низколегированных сталей и цветных металлов вместо сплавов ТЗОК4 и Т15К6.

Инструменты оснащаются также пластинками с тонкими покрытиями (толщиной 5...10 мкм) из износостойких материалов (карбида, нитрида или карбонитрида титана и др.). Это повышает их стойкость в 5...6 раз.

Синтетический материал, основой которого является корунд (Al_2O_3), - минерал кристаллического строения, относится к инструментальному материалу - минералокерамике. Получают корунд из глинозема в электропечах спеканием при температуре 1720...1750°C, в связи с чем его называют электрокорундом.

Оксидная керамика, в состав которой входят легирующие добавки MgO , ZrO_2 и др., обладает высокими твердостью (HRA 90...94) и теплостойкостью (до 1200 °C). Ее малое сродство с металлами исключает адгезионное взаимодействие с обрабатываемым материалом, вследствие чего при обработке не образуется нарост и достигается меньшая шероховатость поверхности (по сравнению с обработкой твердым сплавом). Недостатками оксидной минералокерамики являются ее низкая прочность и хрупкость. Достаточно широкое применение получила минералокерамика марок ЦМ-332 и ВО-13.

Для повышения механической прочности в оксидную керамику добавляют различные тугоплавкие соединения (карбиды титана, вольфрама, циркония, молибдена). Такие материалы на-

зываются оксидно-карбидной керамикой (марки ВЗ, ВОК-60, ВОК-63, ВШ-75), из которой изготавливаются многогранные и круглые пластины. Пластины крепят к инструменту механическим путем или, предварительно подвергнув их металлизации, пайкой. Инструменты из минералокерамики используют для обработки ковких и высокопрочных чугунов, труднообрабатываемых сталей и сплавов.

В последнее время широкое распространение получили синтетические сверхтвердые материалы на основе твердых модификаций нитрида бора. Они обладают большой твердостью, уступающей лишь синтетическому алмазу, и высокой теплостойкостью (до 1300 °С).

Абразивные материалы представляют собой порошкообразные мелкозернистые вещества, используемые для производства абразивных инструментов. Естественные абразивные материалы (наждак, кварцевый песок, корунд) характеризуются значительным разбросом свойств и поэтому применяются редко.

Абразивные инструменты изготавливают из искусственных материалов: электрокорунда, карбидов кремния, карбидов бора, оксида хрома и других материалов. Все они отличаются высокими свойствами: красностойкостью (1800...2000 °С), износостойкостью и твердостью.

Самым твердым из известных инструментальных материалов является *алмаз*. Он обладает высокими твердостью и износостойкостью, хорошей теплопроводностью, малым коэффициентом трения и низкой адгезионной способностью к металлам. Алмазами оснащают режущие инструменты (резцы, сверла и др.), их используют для изготовления инструментов (круги, ленты, пилы и др.) и различных доводочных порошков. Обработка таким инструментом характеризуется высокой размерной точностью, малой шероховатостью поверхности и повышенной производительностью.

В промышленности используют природные (марки А) и синтетические (марки АС) алмазы. Алмазный инструмент применяют для обработки твердых и полупроводниковых материалов, керамики, сплавов цветных металлов, жаропрочных сплавов. Недостатками алмазного инструмента являются большая хрупкость, высокая стоимость и дефицитность.

В промышленности создан ряд инструментальных материалов, которые называются *композиционными* (композитами). Композиты изготовляют в виде цилиндрических столбиков и крепят к державкам режущего инструмента.

5.2. Металлорежущее оборудование

Современные металлорежущие станки принято классифицировать по различным признакам:

по назначению (группам) - станки токарной, сверлильной, фрезерной, строгальной и шлифовальной групп; протяжные, специальные (зубо- и резьбообрабатывающие); агрегатные или специализированные и прочие (центровальные, распиловочные и др.);

по степени автоматизации - станки-автоматы, полуавтоматы, с программным управлением, автоматические линии станков и т.п.;

по степени точности размеров обрабатываемой детали - станки нормальной точности и высокоточные (прецизионные);

по степени чистоты обрабатываемой поверхности - обдирочные и чистовые;

по конструктивным признакам (в зависимости от расположения шпинделя) - горизонтально-фрезерные, вертикально-фрезерные, вертикально-сверлильные и т.п.

Станки каждой группы разделяют на подгруппы (типы) и модели в соответствии с конструктивными и технологическими особенностями, степенью специализации и т.д.

Модель станка обозначают соответствующим номером. Станкостроительные заводы пользуются трех- или четырехзначной нумерацией, согласно которой первая цифра определяет группу станка, вторая - подгруппу в пределах данной группы (тип, модель), третья (или при четырехцифровом обозначении - третья и четвертая цифры) - условно характеризует основные технологические особенности станка (например, наибольший диаметр обрабатываемой на станке детали, размеры стола и т.п.). Прописная буква после первой цифры указывает на модернизацию станка. Например, для станков токарной группы первая цифра 1, а вторая: 1 и 2 - автоматы и полуавтоматы; 3 - револьверные; 6 - то-

карно-винторезные и т.д. Так, станок модели 1620 - токарно-винторезный станок с высотой центров 200 мм.

Токарные станки, предназначенные для обработки тел вращения, подразделяются:

- на автоматы и полуавтоматы;
- токарно-револьверные;
- карусельные;
- токарно-винторезные и лоботокарные;
- многорезцовые и копировальные;
- специализированные.

В универсальных токарных станках движение резания сообщается заготовке, а движение подачи — инструменту. Станки используют для обработки заготовок типа валов и дисков, которые закрепляют в центрах, в патроне или на планшайбе. Универсальные токарные станки имеют, как правило, горизонтальное расположение шпинделя.

Станки токарной группы получили широкое распространение в машиностроении (до 40% общего количества станочного парка). На рис. 5.7 представлена упрощенная схема токарно-винторезного станка.

Важными характеристиками токарных станков являются высота H центров над направляющими станины, которая определяет наибольший возможный диаметр обрабатываемой заготовки и расстояние L между центрами, которое определяет наибольшую длину обрабатываемых заготовок. Перемещение инструмента в продольном направлении, как правило, возможно на большую длину, чем в поперечном. Универсальные токарно-винторезные станки имеют ходовой винт и ходовой валик. Ходовой винт используется для более точного согласованного с вращением заготовки перемещения инструмента при нарезании резьбы.

Назначение основных механизмов и деталей токарно-винторезного станка. Станина 21 с горизонтальными призматическими направляющими 14 служит для монтажа всех механизмов станка и для восприятия усилий, возникающих во время обработки, без заметных деформаций. Станина закреплена на двух тумбах: передней 25, в которой смонтирован электродвигатель 24 главного привода станка, и задней 23, в которой распо-

ложены бак для хранения жидкой смазочно-охлаждающей технологической среды и насосная станция для ее подачи в зону резания в процессе обработки заготовок.

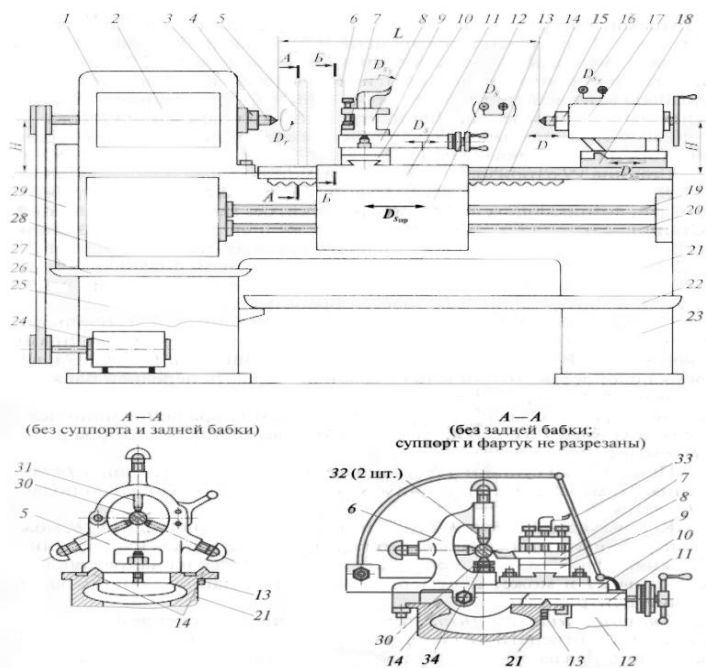


Рис. 5. 7. Общий вид универсального токарно - винторезного станка: 1 - передняя тумба; 2 - панель коробки скоростей, 3 - шпиндель, 4, 15 - центры, 5 - неподвижный лонет, 6 - подвижный лонет, 7 - резец, 8 - резцодержатель, 9 - верхний суппорт, 10 - поперечная каретка, 11 - продольный суппорт, 12 - фартук, 13 - зубчатая рейка, 14 - призматические направляющие, 16 - пиноль, 17 - корпус задней бабки, 18 - нижняя плита задней бабки, 19 - ходовой винт, 20 - ходовой валик, 21 - станина; 22, 27 - корыта, 23 - задняя тумба, 24 - электродвигатель, 25 - передняя тумба, 26 - ременная передача (условно отодвинута от станины, 28 - коробка подачи; 29 - коробка сменных зубчатых колес, скоростей; 30 - заготовка, 31 - упоры неподвижного лонета, 32, 34 - упоры подвижного лонета, 33 - защитный экран, D_v установочные движения элементов станка 8, 16, 17, 18

Передняя бабка 1 служит для закрепления заготовок и сообщения им главного (вращательного) движения резания D_r с различными скоростями. В корпусе передней бабки размещены шпиндель 3 и коробка скоростей.

Шпиндель — важнейшая часть передней бабки — пустотелый вал, вращающийся в подшипниках. При помощи коробки скоростей можно задавать необходимую частоту вращения шпинделя, а также совместно с коробкой подач 28 — величину подачи (скорости перемещения суппорта).

Продольный суппорт 11 , установленный на направляющих 14 станины 21 , перемещается по ним и обеспечивает продольную подачу $D_{сп}$ резца 7 .

Корпус задней бабки 17 , установленный на нижней плите 18 , можно перемещать относительно этой плиты в поперечном направлении. Нижняя плита 18 в свою очередь устанавливается на направляющих станины 21 и может перемещаться по этим направляющим вдоль линии центров станка.

Сверлильные станки предназначены для сверления глухих и сквозных отверстий в сплошном материале, рассверливания, зенкерования, развертывания, нарезания внутренних резьб, вырезания дисков из листового материала. Формообразующими движениями при обработке отверстий на сверлильных станках являются главное вращательное движение инструмента D_r и движение подачи $D_{сп}$.

Сверлильные и расточные станки подразделяются:

на вертикальные и горизонтальные;

одно- и многошпиндельные;

настольные и стационарные;

радиально-сверлильные;

координатно-расточные;

с ЧПУ;

для глубокого сверления и др.

Для установки и закрепления заготовок на столах специальных станков применяют различные приспособления: машинные тиски, прихваты, подкладки, призмы и др.

При разработке режима резания исходят из главного положения: процесс резания при сверлении сложнее, чем при точении, т.к. при сверлении изменение скорости от максимального

значения на наружном диаметра сверла до нуля в центре создает неравномерные условия для стружкообразования. Силы трения стружки о сверло и сверла о поверхность заготовки, затрудненный отвод стружки, высокие температуры обработки и трудности процесса охлаждения инструмента – все это затрудняет процесс сверления.

Фрезерные станки предназначены для обработки резанием с помощью вращающегося инструмента с одной или несколькими режущими кромками (зубьями). Область применения фрезерных станков обширна: обработка плоских и фасонных поверхностей, прямых и винтовых канавок, резьб, зубчатых колес с цилиндрическими, концевыми, торцовыми, шпоночными, фасонными, модульными (концевыми и дисковыми) фрезами.

Основной отличительной особенностью процесса фрезерования является прерывистый характер резания. При этом толщина слоя, срезаемого зубом фрезы, переменна и изменяется от некоторого минимума до максимума и наоборот. На дуге резания одновременно работает несколько зубьев, которые выполняют работу циклично, с перерывами.

В зависимости от направления вращения фрезы и поступательного перемещения обрабатываемой заготовки различают встречное фрезерование, когда заготовка подается навстречу вращению фрезы, и попутное фрезерование, когда направление подачи заготовки и вращения фрезы совпадают.

В зависимости от выполняемых работ и конструктивных особенностей станки фрезерной группы подразделяются на станки общего назначения и специальные.

Консольные фрезерные станки (вертикально- и горизонтально - фрезерные) предназначены для фрезерных работ по чугуну, стали и цветным металлам твердосплавным инструментом в условиях мелко- и крупносерийного производства.

Универсальные инструментальные фрезерные станки, которые оснащаются поворотной фрезерной головкой и поворотным столом и имеют привод мощностью до 15 кВт.

Фрезерные станки со станинами применяют в случаях, когда необходимы более высокая жесткость, простая загрузка деталей и высокая грузоподъемность стола. Жесткость таких станков значительно выше, чем консольных. В продольном направ-

лении она составляет примерно 65 Н/мкм, в поперечном — примерно 125 Н/мкм. Точность позиционирования на станках с ЧПУ находится в пределах 20...40 мкм на длине перемещения заготовки 1 м. Производительность при работе на станках с ЧПУ выше в несколько (3 - 5) раз, лучше качество изготавливаемой продукции и условия труда, чем при работе на станках с ручным управлением. Так как в машиностроении более 70 % изделий изготавливают в условиях серийного или мелкосерийного производства, использование станков с ЧПУ становится эффективным средством автоматизации процессов резания.

Многооперационные станки с ЧПУ, которые имеют, по крайней мере, три линейные оси с числовым контурным управлением и одну или две оси вращения инструмента. На этих станках могут выполняться операции сверления, растачивания и фрезерования. Для автоматической смены инструмента предусмотрен инструментальный магазин. При необходимости станок оснащается системой автоматической смены заготовок. Весь технологический процесс обработки заготовки управляется системой ЧПУ.

Многооперационными станками обычно оснащают гибкие автоматизированные производственные системы, а так же применяют современные обрабатывающие центры.

5.3. Электрофизико-химические и нетрадиционные методы обработки

Для обработки конструкционных материалов, имеющих низкую обрабатываемость лезвийным и абразивными инструментами, в т.ч. высоколегированных сталей, твердых сплавов, ферритов, керамики, полупроводников и др., применяют физико-химические методы обработки материалов, обеспечивающие съём обрабатываемого материала в результате физико-химических процессов. По механизму разрушения и съема материала все физико-химические процессы обработки подразделяют на группы электрофизико-химические методы обработки.

К электрофизико-химическим относят методы формообразующей обработки, осуществляемые с помощью тепловой энер-

гии путем удаления припуска с заготовки в жидком или парообразном состоянии.

Электрофизико-химические методы обработки классифицируют на три основные группы (рис. 5.8) [1].

К первой группе относят электрофизические методы обработки, использующие высококонцентрированные источники энергии. При удельной мощности $10^{-1} \dots 10^4$ Вт/м² энергия электрического тока или электромагнитного поля, концентрируемая на локальном участке поверхности, трансформируется в тепловую энергию, преобразуя слой металла (припуска) в жидкое или парообразное состояние с последующим его удалением. Высокая концентрация энергии достигается благодаря локализации выделяющейся энергии в пространстве при ее подводе через канал электрического разряда, луч лазера или электронного луча, поток плазмы. К группе электрофизических относят электроэрозионные, плазменные, электронно-лучевые, лазерные и некоторые другие методы обработки.

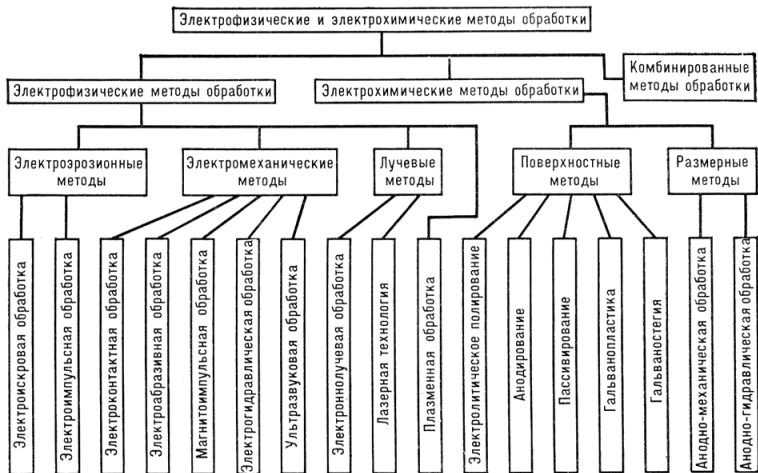


Рис. 5.8. Классификация основных электрофизических и электрохимических методов обработки

Ко второй группе относят электрохимические методы обработки, например, анодно-химическую обработку, анодное растворение или катодное осаждение, осуществляемое при плотности удельной мощности $10^3 \dots 10^4$ Вт/м².

К третьей группе относят комбинированные электрофизико-химические процессы, в которых одновременно или последовательно сочетаются несколько различных видов энергетического воздействия, эффективно дополняющие друг друга: эрозионно-электрохимические, ультразвуковые электрохимические, плазменно-механические, алмазно-эрозионные и др.

Наиболее применяемыми и перспективными методами обработки являются электроэрозионная, электрохимическая, лучевая и ультразвуковая (рис. 5.8).

Электроэрозионная обработка металлов основана на тепловом действии импульсов электрического тока, возбуждаемых в среде жидкого диэлектрика между электродом-инструментом и обрабатываемой заготовкой (рис.5.9).

Электроэрозия является процессом разрушения поверхности металлических электродов при пробое межэлектродного промежутка электроискровым разрядом с образованием углублений.

Электроэрозионная обработка металлов и сплавов зависит от теплофизических свойств обрабатываемых материалов и факторов, характеризующих электрические процессы

Электрохимической обработкой называют способ обработки заготовок в потоке электролита (растворе хлорида, нитрата и сульфата натрия) при пропускании электрического тока от внешнего источника, когда обрабатываемый материал является анодом.

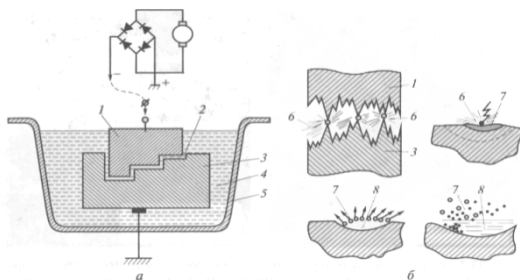


Рис. 5.9. Принципиальная схема электроэрозионной обработки металлов:

а — схема размещения электродов в процессе обработки; *б* — схема последовательности возникновения разряда и образования лунки; *1* — электрод-инструмент; *2* — межэлектродный зазор; *3* — обрабатываемая заготовка; *4* — рабочая жидкость; *5* — ванна; *6* — разряд между наиболее близкими участками поверхности; *7* — расплавление металла и его выброс; *8* — лунка, оставшаяся на поверхности

Ультразвуковой размерной обработкой называют направленное разрушение твердых и хрупких материалов с помощью инструмента (рис. 5.10). Ультразвуковая размерная обработка заключается в том, что между инструментом, соединенным с излучателем, и заготовкой вводится абразивный материал, который воздействует на обрабатываемую поверхность.

Сущность этого способа обработки основана на долбящем действии абразивной суспензии (смеси антикоррозионной жидкости с абразивными частицами во взвешенном состоянии) и кавитационных процессах в суспензии, которые значительно ускоряют направленное разрушение обрабатываемого материала. Суспензия не только передает энергию от вибрирующего с ультразвуковой частотой (выше 18 кГц) инструмента абразивным зернам, но и содействует удалению из рабочего зазора продуктов разрушения обрабатываемого материала (рис. 5.10, *б*).

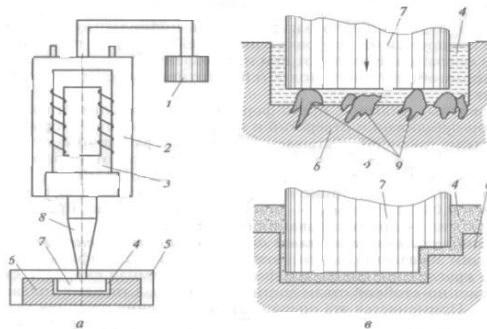


Рис. 5.10. Схема ультразвуковой размерной обработки при прошивании (долблении): *а* — принципиальная схема ультразвуковой установки; *б* — схема съема материала при ультразвуковом прошивании; *в* — схема копирования профиля инструмента в заготовке; *1* —

генератор тока повышенной частоты; 2 — корпус магнитостриктора с охлаждающей водой; 3 — магнитостриктор (пакет с обмоткой); 4 — зазор, заполненный абразивной суспензией; 5 — ванна; 6 — обрабатываемая заготовка; 7 — инструмент; 8 — концентратор-волновод (трансформатор амплитуды); 9 — частички абразивных зерен

Размерная обработка инструментом обеспечивает высокую точность, позволяет получать сквозные и глухие отверстия, вырезы, осуществлять шлифование, клеймение и др. операции.

Наряду с преимуществами ультразвуковой метод имеет и недостатки: сравнительно небольшая площадь и глубина обработки, большая энергоемкость, невысокая производительность процесса и большой износ инструмента.

Лучевая обработка основана на съеме материала при воздействии на него концентрированных лучей с высокой плотностью энергии путем преобразования лучевой энергии в тепловую непосредственно в зоне обработки. Способы лучевой обработки требуют применения специальных устройств, обеспечивающих подвод лучевой энергии к зоне обработки. Такие устройства применяют для обработки заготовок как из электропроводных, так и из неэлектропроводных материалов.

Для размерного съема материала применяется в основном электронно-лучевая и лазерная (светолучевая) обработка. Концентрация энергии различных лучевых источников может быть оценена удельной мощностью в пятне нагрева. Наибольшую удельную мощность энергии (до 10^{10} Вт/см²) могут обеспечить воздействия лазерным и электронным лучами.

Эффективность применения методов физико-химических методов обработки проявляется тем больше, чем сложнее форма обрабатываемой поверхности детали и выше физико-механические свойства материала, а также чем больше трудностей возникает при ее изготовлении методами механической обработки.

Нетрадиционные методы обработки основаны на удалении припуска путем использования энергии воды или водоабразивной смеси, воздействующей на поверхность при высоких давлениях, или формировании изделий путем наращивания их поверхностей до заданных размеров.

Под водоструйной обработкой понимают резание струей воды или водоабразивной смесью, истекающей под давлением 400...600 МПа со скоростью 800... 1000 м/с [5].

Наибольшее распространение в промышленности получила водоабразивная обработка, которая осуществляется смесью мелкодисперсных абразивных зерен и воды. Кинетическая энергия струи воды передается частицам абразива, которые срезают микростружки с обрабатываемой поверхности. При этом практически полностью отсутствует тепловое и силовое воздействие на заготовку, что позволяет получить недеформируемую поверхность резания без заусенцев и искажений структуры металла.

На водоструйных установках можно разрезать листовый материал под прямым углом, пробивать небольшие отверстия, прорезать узкие пазы и вырезать близко расположенные профили (в том числе в неэлектропроводящих материалах). Процесс обработки можно начинать в любой точке поверхности изделия. Сравнительно небольшая ширина резания (0,1...0,3 мм при резании водой и 1... 1,5 мм при резании водоабразивной струей) обеспечивает экономию обрабатываемого материала и снижение энергозатрат. Процессы отличаются гибкостью, экологической безопасностью и используются в основном при выполнении индивидуальных заказов, требующих быстрой переналадки оборудования.

Водоабразивное резание достаточно широко используется при резании листового материала, обработке для улучшения качества поверхностного слоя, прорезания пазов различного профиля. Водоабразивное резание производят смесью воды и мелкодисперсного абразивного порошка, истекающей под давлением 400 МПа из сопла диаметром 0,1 ...0,2 мм со скоростью до 1000 м/с (рис. 5.11).

Наиболее важными параметрами, оказывающими сильное влияние на производительность и качество водоабразивной обработки, являются расстояние от выходного сопла установки до обрабатываемой поверхности l_n , скорость перемещения сопла, угол расположения сопла установки относительно обрабатываемой поверхности, давление жидкости, подаваемой в инжекторную камеру.

Водоструйное резание экономически целесообразнее ряда других способов разрезания листовых заготовок из различных материалов. Например, поданным фирмы *Bystronic*, при обработке алюминиевых листов толщиной более 10 мм и стальных листов толщиной более 15 мм водоструйное резание по экономическим показателям существенно превосходит соответствующие показатели лазерной резки [5].

За последние годы улучшение поверхностных свойств изделий различного назначения и повышение их надежности достигается путем модификации свойств различными технологическими методами.

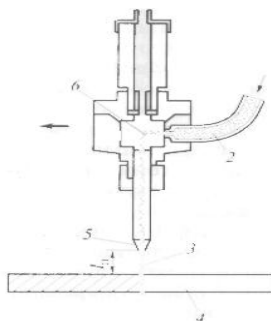


Рис. 5.11. Принципиальная схема установки для водоабразивной обработки поверхностей: 1 — система подачи воды (давление 400 МПа и более); 2 — система подачи абразивного порошка (SiC , Al_2O_3); 3 — водоабразивная смесь; 4 — обрабатываемая заготовка; 5 — выходное сопло установки; 6 — камера смешивания абразивного порошка с жидкостью; l_n — расстояние от сопла установки до обрабатываемой поверхности; — направление перемещения сопла относительно обрабатываемой поверхности

Совершенствование оборудования и создание новых технологий позволили разработать принципы поверхностного модифицирования различных свойств материалов изделий, определяющих их эксплуатационные характеристики.

Заметное применение для модификации поверхностных слоев материалов изделий получили методы химического и физического осаждения функциональных покрытий, химико-термической обработки, каждый из них имеет предпочтительные области применения.

В современной мировой практике производства изделий различного назначения получили применение методы химического и физического осаждения покрытий, а также используют комбинированные методы нанесения покрытий, обеспечивающие высокоэффективную подготовку поверхностей изделий и улучшающие качественные параметры покрытия, и, следовательно, эти методы существенно расширяют технологические возможности основных процессов и обеспечивают получение покрытий различной архитектуры и структуры.

Тестовые задания

69. Поверхность резца, по которой сходит стружка, называется:

- а) основной;
- б) главной;
- в) вспомогательной;
- г) передней.

70. Отверстие в сплошном металле заготовок формируют:

- а) зенкерами;
- б) резцами;
- в) сверлами;
- г) фрезами.

71. Обработка на сверлильных станках проводится сверлами, развертками, метчиками, а также:

- а) резцами;
- б) фрезами;
- в) зенкерами;
- г) протяжками.

72. Распространенным видом тонкой чистовой обработки деталей является:

- а) точение;
- б) шлифование;
- в) фрезерование;
- г) протягивание.

73. Укажите основные механизмы изнашивания инструмента, характеризующиеся различной природой физических явлений:

- а) абразивное изнашивание;
- б) пластические деформации режущего лезвия;
- в) адгезионное и диффузионное изнашивание;
- г) все ответы верны.

74. Третья и четвертая цифры в обозначении марки станка означают:

- а) номер завода-изготовителя;
- б) номер ГОСТа;
- в) основные технологические особенности;
- г) номер группы станка.

75. В лезвийной обработке резанием можно выделить следующие технологические методы:

- а) волочение;
- б) фрезерование, сверление, точение;
- в) прессование;
- г) строгание, долбление, протягивание;
- д) резьбонарезание;
- е) штамповку.

76. Для обтачивания наружных цилиндрических поверхностей используют резцы:

- а) расточные;
- б) проходные;
- в) подрезные;
- г) прорезные;
- д) отрезные.

77. Обработку внутренних поверхностей на токарном станке ведут резцами:

- а) расточными;
- б) проходными;
- в) подрезными;
- г) прорезными;
- д) отрезными.

78. Нарезание резьбы, точение конусов и фасонных поверхностей осуществляют на станках:

- а) сверлильных;
- б) токарных;
- в) строгальных;
- г) фрезерных;

д) шлифовальных.

79. Обработку внутренней цилиндрической поверхности детали осуществляют сверлением, а также:

- а) точением;
- б) фрезерованием;
- в) долблением.
- г) строганием;
- д) растачиванием.

80. Для предохранения длинных деталей от прогиба применяют:

- а) люнеты;
- б) планки;
- в) патроны;
- г) центры;
- д) головки.

81. Распространенным видом тонкой чистовой обработки деталей является:

- а) точение;
- б) шлифование;
- в) фрезерование;
- г) протягивание.

82. Наибольшее распространение получили сверла:

- а) специальные;
- б) центровочные;
- в) спиральные.

83. Фасонные заготовки получают с применением фасонных фрез либо с применением специальных:

- а) вставок;
- б) плунжеров;
- в) копиров;
- г) универсально-делительных головок.

6. Проблемы использования и экономический выбор материалов

Развитие микропроцессорной техники, диагностических систем, средств транспортирования и т. п. позволяет свести к минимуму простой оборудования из-за выхода из строя их систем и узлов. Поэтому основным направлением развития технологического оборудования является высокоскоростная обработка, осуществляемой со скоростью резания примерно на порядок выше традиционной. Переход к высокоскоростной обработке привела к изменению конструкций многих узлов, механизмов и систем станка. Это относится к механизмам, обеспечивающим рабочие движения (шпиндельные узлы, механизмы подачи). Высокие скорости рабочих движений требуют динамического качества станков (высокая динамическая жесткость ответственных деталей и узлов станка), и кроме того, элементы станков должны обладать высокими диссипативными свойствами (т. е. эффективно рассеивать создаваемую вибрацией колебательную энергию, преобразуя ее в теплоту).

Используемый материал оказывает влияние на конструктивное решение изделий, форму и качество изделий, способ изготовления соединений и монтажа, сопротивление статическому нагружению и динамическим нагрузкам, долговечность работы изделий, массу изделия, стоимость продукции.

Основным способом обеспечения высоких диссипативных свойств станков является выбор соответствующих конструктивных материалов.

Экономически обоснованный выбор материала. Правильный выбор материала для конкретного изделия является исключительно важной задачей. Он производится с учетом целого ряда критериев (физических, технологических, химических, биологических – устойчивость по отношению к воздействию живых организмов, экологических, экономических, транспортировкой).

При этом технические критерии выбора материала определяются условиями эксплуатации изделия. Они определяют комплекс механических свойств (прочность, упругость, твердость, пластичность, вязкость), а в ряде случаев и требования к специальным свойствам (коррозионная стойкость, жаростойкость,

жаропрочность, износостойкость, радиационная стойкость и др.). Способ изготовления изделий определяет требования к технологическим свойствам материала (ковкость, литейные свойства, обрабатываемость резанием, свариваемость). Если изделие должно подвергаться термической обработке, следует также учитывать прокаливаемость и закаливаемость.

Качество изделия определяется материалом. Качество материала предполагает необходимость учета как производственно-го (от которого зависят технические параметры изделия), так рыночного (определяющего требования материала со стороны потребителя) факторов [2].

Технологические возможности производства проявляются в уровне аттестуемых характеристик реального материала, поступающего на рынок. Поэтому при количественной оценке качества материала следует исходить из перечня аттестуемых его характеристик и реального значения этих характеристик, достигаемых при данном уровне производства.

Рыночный фактор при количественной оценке качества материала связан с сегментацией рынка и проявляется в составе аттестуемых параметров по их значимости для данного рынка.

Каждая из характеристик материала может иметь определенные отклонения от номинального показателя. Отклонения, превышающие номинальные показатели (или диапазон), переводят материал в другую группу качества.

Современная методика оценки качества материала должна учитывать основные аттестуемые параметры реального материала, их весомость с точки зрения определенного рынка (рыночного сегмента), чувствительность рынка к колебаниям нормируемых характеристик параметров идеального материала, в полной мере удовлетворяющего требованиям потребителя.

Потребительскими свойствами промышленных материалов (например, механические и физико-химические) являются свойства, которые нужны и используются при производстве и эксплуатации изделий.

Приведенные требования накладывают определенные ограничения на выбор материала. Если они оказываются достаточно жесткими, то возможный выбор ограничивается весьма узкой группой материалов. При меньшей жесткости требований выбор

становится более широким. В любом случае, когда возможны различные варианты решения задачи выбора материала, окончательный ответ должен дать экономический анализ вопроса. Исходными данными для этого служат цены материалов. Однако выбор наиболее дешевого материала далеко не всегда будет оптимальным. Экономия также может быть получена за счет следующих факторов:

- использование более прочного материала. Это дает возможность уменьшить размеры изделия, т.е. позволяет снизить расход материала на единицу готовой продукции. Уменьшение размеров также способствует снижению затрат на транспортирование изделий. Кроме того, появляется возможность повысить мощность и производительность оборудования, изготовленного из более прочных материалов,

- применение более технологичного материала, позволяющего применять более экономичные методы изготовления и обработки изделий. При этом экономия может быть получена как непосредственно за счет снижения себестоимости изготовления, так и за счет снижения расхода материала благодаря уменьшению отходов и брака,

- применение материала с более длительным сроком службы, что приводит к повышению долговечности готового изделия,

- использование материалов, способных работать в более тяжелых условиях (при более высоких нагрузках, более высоких температурах, в более агрессивной среде). Применение таких материалов при изготовлении различных машин и оборудования позволяет изменить рабочие параметры машин (например, повысить давление или температуру), что приводит к повышению производительности и соответственно снижению себестоимости единицы работы или продукции.

Правильный выбор материала должен учитывать как экономический эффект от повышения качества, так и увеличение стоимости материала. Для этого производится сравнительный расчет экономической эффективности применения различных материалов, по результатам которого и делается окончательный выбор. Только если увеличение цены перекрывается получен-

ным экономическим эффектом, применение более дорогостоящего материала целесообразно.

Основные направления экономии материалов. Доля стоимости материалов составляет 40...70% всех затрат на изготовление готовых изделий. А для изделий, производство которых широко механизировано и автоматизировано (шарикоподшипники, болты и т.п.), эта доля доходит до 80% . Экономия материалов - один из важнейших резервов снижения себестоимости готовой продукции. Важен тот факт, что запасы сырья для производства материалов (различные руды для металлов и сплавов, нефть и газ для полимерных материалов и др.) являются ограниченными. Экономические ограничения включают не только стоимость материалов, но и их дефицитность, сортамент металлопродукции, затраты на обработку деталей, сварку и контроль качества изделий.

Отсюда ясно, что экономия и повышение эффективности использования материалов являются насущной задачей.

Потери материала при производстве изделий характеризуют коэффициент выхода годных заготовок и коэффициент использования материала.

Коэффициент выхода годных заготовок представляет собой отношение массы полученных заготовок к общей массе, используемого на их изготовление материала. При литье в песчаные формы выход годных простых отливок из чугуна составляет 0,75...0,8, сложных отливок - 0,5...0,6. При использовании стали выход годных отливок составляет 0,4...0,7.

Коэффициент использования материала представляет собой отношение массы готового изделия к массе заготовки. Для профильного проката он составляет 0,8; прутков - 0,5; горячей штамповки - 0,75 и свободнойковки - 0,6. Более высокий коэффициент использования материала характерен для литейного производства: для литья в песчаные формы он составляет 0,75; литья в кокиль - 0,8; в оболочковые формы - 0,8; литья по выплавляемым моделям - 0,9 и литья под давлением - 0,95. Очень высок коэффициент использования материала при изготовлении изделий из металлических порошков.

Таким образом, основной путь экономии материала в процессе производства изделий - *использование современных малоотходных и безотходных технологий*:

- непрерывной разливки стали,
- малоотходных методов штамповки,
- специальных способов литья,
- методов порошковой металлургии.

В институте металлургии им. А.А. Байкова разработаны схемы безотходной технологии по комплексной переработке минерального сырья: медных руд, алюминиевой породы, апатитов др.

В институте высокотемпературной электрохимии Уральского отделения РАН разработаны технологии диффузионного легирования поверхностей деталей из стали и сплавов алюминия, бором и цинком. Они повышают коррозионную стойкость деталей в машиностроении в десятки раз по сравнению с гальваническими и горячими покрытиями, а тем самым снижается энергоёмкость технологического процесса и себестоимость продукции, а также экологическая нагрузка на окружающую среду [6]. Этим же институтом разработана малоотходная технология производства монокристаллического вольфрама методом электролиза расплавленных солей.

Другое направление экономии материалов - *максимальное использование вторичных ресурсов*.

Это не только экономическая, но и экологическая задача, так как скопление отходов наносит огромный вред окружающей среде. Однако следует иметь в виду, что переработка отходов не всегда является технически выполнимой или экономически рентабельной. Использование металлолома в производстве металлов и сплавов не вызывает технических трудностей и экономически выгодно.

Большая часть металлолома - это промышленные отходы и пришедшие в негодность машины и оборудование. С экологической точки зрения важно также осуществлять переработку металлосодержащих шлаков, находящихся в отвалах и т.п.

Значительно хуже обстоит дело с повторной *переработкой пластмасс*. Экологическая проблема заключается в том, что по-

лимерные отходы разлагаются очень медленно или совсем не разлагаются. Некоторые виды пластмасс (термореактивные) вообще не поддаются вторичной обработке. Если же их сжигать, то это вызовет значительное загрязнение атмосферы. Из пластмасс, вторичное использование которых возможно, каждый вид требует своего способа переработки. Из неметаллических материалов, вторичная переработка которых не вызывает серьезные трудности, отметим стекло. Кроме того, стеклянная посуда может собираться и использоваться повторно. Резиновое вторсырье перерабатывается и добавляется в резину при ее производстве.

Огромные потери металлических материалов вызывает коррозия, которая приводит к долгосрочному выходу из строя изделий и сооружений. Ежегодно от коррозии теряется количество металла, равное 10 % от выплавляемого.

Поэтому важнейшее направление экономии металлических материалов - правильная *защита их от коррозии*. Радикальный метод - применение *коррозионностойких (нержавеющих) сталей*. Однако следует иметь в виду, что они в 4...10 раз дороже углеродистых сталей. Поэтому в каждом случае надо применять соответствующий метод защиты от коррозии.

Значительные потери материалов вызывает *износ*. При этом происходит выход из строя элементов машин, работающих в условиях трения, что вызывает дополнительные материальные потери, связанные с ремонтом техники.

Борьба с износом - один из путей экономии материалов. Она заключается в использовании износостойких и антифрикционных материалов как металлических, так и неметаллических; правильном применении смазочных материалов; повышении износостойкости термической, химико-термической обработкой и поверхностным деформированием; наплавке на поверхность изделия износостойкого слоя; нанесении износостойких покрытий.

Значительную экономию материалов может принести *снижение материалоемкости изделий*. Удельная материалоемкость многих видов отечественных машин и оборудования на 15...25 % выше, чем у лучших мировых образцов. По этой причине допускается большой перерасход материала. К способам снижения

материалоемкости следует отнести рациональное конструирование изделий; правильный выбор материала; использование технологий производства изделий, снижающих материалоемкость.

Тестовые задания

84. Назовите критерии выбора материала:

- а) физические и технологические;
- б) устойчивость против агрессивных сред атмосферного влияния и др.;
- в) безвредность материала для окружающей среды;
- г) возможность доставки;
- д) механические и биологические;
- е) все верны.

85. Назовите пути экономии материала в процессе получения изделий:

- а) использование малоотходных технологий;
- б) безотходных технологий;
- в) все ответы верны.

86. Коэффициент использования материала характеризует:

- а) потери материала при производстве;
- б) характер производства;
- в) все верны.

Список использованных источников

1. Адашкин, А.М. Материаловедение (металлообработка): Учебное пособие для нач. проф. образования/ А.М. Адашкин, В.М. Зуев. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Академия, 2008.- 288с.
2. Аносов, Ю.М. Основы отраслевых технологий и организации производства: Учебник / Ю. М. Аносов, Л. Л.Бекренев, В. Д. Дурнев, Г.Н. Зайцев, В.А. Салтыков, В.К. Федюкин, под ред. В. К. Федюкина. -СПб. : Политехника, 2005. - 312 с.
3. Батышев, А.И Материаловедение и технология материалов: Учебное пособие/ А. И. Батышев, А.А. Смолькин; под ред. А. И. Батышева, А.А. Смолькина. – М. :ИНФРА-М, 2012.-288 с.
4. Дальский, А. М. Технология конструкционных материалов: Учебник / А.М.Дальский, Т.М.Барсукова и др.; под ред А.М. Дальского.-М.: Машиностроение, 2005 - 405 с.
5. Заплатин, В.Н. Справочное пособие по материаловедению (металлообработка): учеб. пособие для нач. проф. образования / В. Н. Заплатин, Ю.И. Сапожников, А.В. Дубов; под ред. В. Н. Заплатина. – М. : Академия, 2007. - 224 с.
6. Кушнер, В.С. Технологические процессы в машиностроении: учебник для студ. высш. заведений / В.С. Кушнер, А.С. Верещака, А.Г. Схиртладзе. – М. : Академия, 2011. – 416 с.
7. Пейсахов, А.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебник. 3-е издание / А.М. Пейсахов, А.М.Кучер – СПб.: Питер, 2011. – 416 с.
8. Смолькин, А.А. Тестовые задания по материаловедению и технологии конструкционных материалов: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / А.А. Смолькин, А.И. Батышев, В. И. Безпалько и др.; под ред А. А.Смолькина.- М. : Академия, 2011.-144 с.
9. Солнцев, Ю. П. Оборудование пищевых производств. Материаловедение: Учеб. для вузов/ Ю. П. Солнцев, В. Л. Жавнер, С. А. Вологжанина, Р. В. Горлач. - СПб. : Профессия, 2003. - 526 с.
10. Салтыков, В.А. Технология машиностроения. Технология заготовительного производства: Учебное пособие / В.А.Салтыков, Ю.М. Аносов, В.К. Федюкин. СПб.: Изд-во Михайлова В.А., 2004.- 336 с.

11. Илларионов И.Е. Специальные виды литья: учеб. пособие / И.Е. Илларионов, В.Ф. Пестриков, И.А. Стрельников, В.А. Гартфельдер, А.В. Королев. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2015. – 132 с.
12. И.Е Илларионов. Материаловедение: учеб. Пособие / И.Е Илларионов, Э.Л. Львова, И.А. Стрельников, Е.А . Деревянных. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2016. – 222 с.
Учебное издани

Илларионов Илья Егорович
Львова Эльвира Львовна
Стрельников Игорь Анатольевич
Кравченко Галина Алексеевна

Технология конструкционных материалов

Учебное пособие

Редактор *А.Н. Антонова*
Компьютерная верстка и правка *Е.В. Ивановой*
Согласно Закону №436-ФЗ от 29 декабря 2010 года
данная продукция не подлежит маркировке

Подписано печать . Формат 60x84/16.
Бумага газетная. Печать офсетная. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 13,1. Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство Чувашского университета
Типография университета

Подписано в печать 2020 г. Формат 60×84/16.
428015 Чебоксары, Московский просп.,15

