Федеральное агентство по образованию
Дальневосточный государственный технический университет
(ДВПИ имени В.В. Куйбышева)

И.Н. Мутылина

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рекомендовано Дальневосточным региональным учебно-методическим центром в качестве учебного пособия для студентов технических специальностей вузов региона

Владивосток
2007

УДК 669.01
М 90

Мутылина, И.Н. **Технология конструкционных материалов**: учеб. пособие / И.Н. Мутылина. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 167 с.

ISBN 5-7596-0662-8

В учебном пособии рассмотрены металлургические способы получения конструкционных материалов и технологические процессы изготовления полуфабрикатов и изделий, предназначенных для машиностроения, судостроения и судоремонта, описаны дефекты, возникающие в процессе изготовления различных полуфабрикатов и готовых изделий, и указаны способы их устранения.

Учебное пособие написано для студентов технических специальностей в соответствии с программой курсов «Материаловедение и технология конструкционных материалов», «Технология конструкционных материалов» и «Технология конструкционных материалов в машиностроении». Данное пособие может быть использовано при выполнении индивидуальных заданий по курсам.

Рецензенты:
В.В. Тарасов, зав. каф. технологии материалов, профессор (МГУ им. адм. Г.И. Невельского);
С.А. Горчакова, доцент (МГУ им. адм. Г.И. Невельского):
Т.Н. Токарчук, доцент (ДВГУ)

Издано по решению Редакционно-издательского совета ДВГТУ

Отпечатано с оригинал-макета, подготовленного автором

ISBN 5-7596-0662-8

© Мутылина И.Н., 2007
© ДВГТУ, изд-во ДВГТУ, 2007

ВВЕДЕНИЕ

Решение важнейших технических проблем, возникающих в области машиностроения, судостроения и судоремонта и связанных с экономией материалов, уменьшением массы судовых машин и механизмов, надежностью и работоспособностью приборов, во многом зависит от правильного выбора технологического процесса изготовления изделий.

В данном учебном пособии рассмотрены вопросы курсов «Технология конструкционных материалов», «Технология конструкционных материалов в машиностроении» и раздела «Технология конструкционных материалов» учебного курса «Материаловедение и технология конструкционных материалов» для студентов технических специальностей. Цель этих курсов – получение знаний по выбору технологических методов получения заготовок и деталей из материалов, применяемых в машиностроении и судостроении. К основным задачам курсов относятся ознакомление с основами рационального выбора конструкционных материалов и изучение методов их получения и обработки. Это объясняется тем, что проблема рационального выбора технологии изготовления машиностроительных и судостроительных изделий – одна из основных в современном промышленном производстве. Без знаний в области технологии материалов решить ее невозможно.

В пособии рассмотрены металлургические способы получения металлических материалов и технологические процессы изготовления полуфабрикатов и изделий, предназначенных для машиностроения, судостроения и судоремонта, описаны дефекты, возникающие в процессе изготовления различных полуфабрикатов и готовых изделий, и указаны способы их устранения.

ГЛАВА 1 МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Металлургия (*от греч. metallurgéō – обрабатываю металлы, добываю руду*) – область науки, техники и отрасль промышленности, охватывающие процессы получения металлов из руд или других материалов, а также процессы, сообщающие металлическим сплавам путем изменения их химического состава и строения свойства, соответствующие назначению.

К металлургии относятся процессы обработки руд с целью их подготовки к извлечению металлов, процессы извлечения металлов из руд и других материалов, очистка металлов от нежелательных примесей и др. процессы.

Исторически сложилось так, что металлургическое производство подразделяют на *черную металлургию* (металлургию железа и его сплавов) и *цветную металлургию* (металлургию всех остальных металлов).

Черная металлургия – основа развития большинства отраслей народного хозяйства. Несмотря на бурный рост продукции химической промышленности и цветной металлургии, черные металлы и сплавы на их основе остаются главным конструкционным материалом в судостроении.

Полный производственный цикл в черной металлургии включает в себя следующие основные этапы:

- добыча руды, ее обогащение и переработка в агломерат или окатыши (рудоуправления и горно-обогатительные комбинаты – ГОКи);
- добыча коксующихся углей и их переработка в кокс;
- производство ферросплавов (как элемента для легирования или раскисления металла);
- производство передельного чугуна;
- выплавка стали;
- производство проката;
- производство труб, метизов и другой продукции более высоких переделов.

Важнейший фактор, определяющий долгосрочные перспективы, как отдельных предприятий, так и отрасли в целом, – технологии. В черной металлургии в зависимости от *используемого сырья* выделяют:

- *доменное производство* (сырьем служит обогащенная до агломерата или окатышей железная руда и кокс) передельного чугуна, из которого затем выплавляют сталь;
- *бескоксовую технологию*, когда в установке металлизации идет *прямое восстановление* обогащенной железной руды газом (direct reduction iron – DRI) до металлизированного продукта, годного для производства электростали;
- *технологию, использующую лом* (для электропечей оптимальна смесь металлолома и продуктов прямого восстановления).

В первых двух случаях сырьем для выплавки стали служит железная руда. В последние десятилетия в мире преобладает тенденция увеличения доли стали, выплавляемой с использованием технологии прямого восстановления.

В черной металлургии ряда развитых стран большое значение приобретает использование вторичного сырья (стального лома). В настоящее время в черной металлургии мира примерно 2/5 железосодержащего сырья составляет стальной лом.

Технология прямого восстановления – это процессы получения железа и стали непосредственно из рудных материалов, минуя стадию выплавки чугуна в доменных печах. В зависимости от температуры процесса конечный продукт получается в виде *губчатого железа*, *крицы* или в *жидком виде*.

Наиболее распространены процессы производства губчатого железа с применением газообразного восстановителя. Этот способ более экономичен, но для него необходимы дешевый природный газ и немалые капиталовложения. Поэтому технология распространена только в некоторых развитых странах и странах с недавно созданной черной металлургией (Венесуэла, Мексика, Иран, Саудовская Аравия). В Китае, Южной Корее, Индии развивается в основном доменное производство.

Продукты прямого восстановления используются для выплавки стали (в качестве заменителя металлического лома), в порошковой металлургии, в химической и других отраслях промышленности.

По технологической схеме бескоксовой металлургии «железная руда – окатыши – шахтная печь – электропечь» работает Оскольский электрометаллургический комбинат. Измельченная и обогащенная руда поступает на комбинат, где в особых барабанах частицы руды с помощью склеивающего вещества – бетонированной глины превращаются в шарики-окатыши. Эти окатыши после окислительного обжига загружают сверху в шахтную печь, а снизу подают нагретые восстановительные газы, полученные после специальной обработки – конверсии природного газа. В печи создается высокая температура (до 750°С), необходимая для начала процессов восстановления железа из соединений, в результате чего протекает процесс образования губчатого железа – сырья для выплавки высококачественной стали в дуговых печах.

Крупнейшими производителями черных металлов в России являются Череповецкий (Северсталь), Магнитогорский (ММК), Новолипецкий (НЛМК), Нижнетагильский (НТМК), Западно-Сибирский (Запсиб), Кузнецкий (КМК), Орско-Халиловский (Носта) и Челябинский (Мечел) комбинаты. Все эти предприятия – интегрированные комбинаты, производящие сталь, начиная от переработки железной руды в агломерат или окатыши и производства кокса и заканчивая прокатом и продукцией более глубоких переделов. В ряду крупнейших производителей черных металлов выделяется НЛМК – единственный, где вся сталь производится кислородно-конвертерным или электросталеплавильным способом и разливается методом непрерывной разливки.

1.1 Доменное производство

Доменное производство является отраслью черной металлургии и представляет собой производство чугуна восстановительной плавкой железных руд или окускованных железорудных концентратов в доменных печах.

Доменное производство возникло в результате развития *сыродутного процесса* – «прямого» получения железа в твердом состоянии непосредственно из железной руды путем восстановления ее в низких горнах или шахтных печах (домницах) с помощью древесного угля. Первые доменные печи в Европе появились в середине XIV в., а в России – около 1630 г., вблизи Тулы и Каширы. На Урале первый чугун получен в 1701 г., а в середине XVIII в. благодаря развитию уральской металлургии Россия вышла на 1-е место в мире, которое удерживала до начала XIX в. До середины XVIII в. единственным топливом в доменном производстве был древесный уголь. В 1735 г. А. Дерби применил в доменной плавке каменноугольный кокс.

Исходными материалами (**шихтой**) в доменном производстве являются железная и марганцевая руда, флюсы и каменноугольный кокс, агломерат и окатыши.

Железная руда. Железо в чистом виде редко встречается в поверхностных слоях земной коры, из-за большой склонности железа к окислению обычно встречаются окислы железа в смеси с различными соединениями других элементов. Насчитывается около 200 различных минералов, содержащих железо. Ведущие ученые в области геологии академики В.И. Вернадский и А.П. Виноградов считали, что в земной коре (до глубины 16 км) содержится примерно 5 % железа в виде окислов, карбонатов, сульфидов и др. соединений. В отдельных местах земной коры содержание соединений железа еще выше. Наиболее крупные и богатые окисленными соединениями железа скопления минералов называют месторождениями *железных руд*.

К железным рудам относят *красный*, *бурый*, *магнитный* и *шпатовый* железняки. Эти руды содержат значительное количество *рудного вещества* или соединений железа, из которых оно извлекается, и относительно небольшое количество *пустой породы*, легко отделяющейся при переработке. Пустой породой в железных рудах чаще всего являются кремнезем, каолин, реже доломит и магнезит. В рудах обычно содержатся и *вредные примеси*, которые осложняют металлургические переделы и, загрязняя основной металл, снижают его свойства. В железных рудах к вредным примесям обычно относят серу, мышьяк и фосфор.

Красный железняк (*гематит*) содержит железо главным образом в виде Fe_2O_3 – безводной окиси железа. Цвет меняется от ярко до темно-красного. Пустой породой в нем обычно бывает кремнезем. Содержание железа в красном железняках по массе составляет 50-60 % при малом содержании вредных примесей. Красный железняк хорошо восстанавливается в доменных печах.

Бурый железняк (*лимонит*) содержит железо главным образом в виде водных окислов железа $nFe_2O_3 \cdot mH_2O$. Цвет меняется от коричнево-желтого до темно-бурого. Обычно бурый железняк содержит 30-50 % железа, но кристаллическая вода, удаляемая при плавке, делает руду пористой и легко поддающейся восстановлению. Ее пустая порода состоит из глины. Бурые железняки многих месторождений содержат значительное количество серы, фосфора и других примесей.

Магнитный железняк (*магнетит*) содержит железо главным образом в виде Fe_3O_4, обладающего хорошо выраженными магнитными свойствами. Цвет черный. Пустой породой, сопутствующей магнетиту, бывают кремнеземистые минералы. Магнетиты являются наиболее богатыми железными рудами (железа от 40 до 70 %), но восстанавливать их труднее, т.к. они

являются плотными горными породами. Если они залегают вместе с пиритами, то руда иногда может содержать до 2 % серы в виде FeS_2.

Шпатовый железняк (*сидерит*) содержит железо главным образом в виде карбоната $FeCO_3$. Его пустая порода содержит алюмосиликаты и магнезит, а содержание железа колеблется от 30 до 40 %. Для повышения содержания железа эти руды обжигаются, удаляющийся при этом углекислый газ делает руду пористой и легко поддающееся восстановлению. Мраморовидные скопления шпатового железняка имеют светло-серый и желтовато-белый цвет.

В природе часто встречаются руды, содержащие несколько полезных ископаемых. Такие руды принято называть *полиметаллическими,* или *комплексными*. В некоторых железных рудах кроме железа содержатся марганец, хром, никель и другие элементы, которые при плавке восстанавливаются и растворяются в железе, легируя его.

Мировые запасы железной руды оцениваются примерно в 800 млрд т. Наиболее богаты запасами железной руды Бразилия, Австралия, Китай и Канада. Около трети их залегают на территории государства СНГ (Россия, Украина. Казахстан). Крупными запасами располагают также Индия, США, Швеция, Франция, Венесуэла и ЮАР (табл. 1).

Таблица 1

Доля крупных регионов мира в добыче железной руды (товарная масса), %

Регионы	1950	1970	1990	2000
Западная Европа	30,3	18,1	4,0	3,0
Восточная Европа	18,4	28,3	23,8	14,5
Северная Америка	41,0	20,2	11,0	11,0
Центральная и Южная Америка	2,8	9,6	22,4	17,3
Азия	2,1	9,1	22,5	34,6
Африка	4,5	6,8	4,8	3,2
Австралия и Океания	1,0	8,0	11,5	16,4

Марганцевая руда загружается вместе с железными рудами в доменную печь, если поступающая на плавку железная руда содержит недостаточное количество марганца. Марганцевые руды содержат марганец в виде различных окислов (MnO_2, Mn_2O_3, Mn_3O_4) с содержанием 25-40 % Mn. Их пустая порода в большинстве случаев состоит из глинистых песчаников, которые могут быть частично отделены простой промывкой.

Флюсы вводят в доменную печь для уменьшения содержания пустой породы руды за счет образования легкоплавких соединений с пустой породой. Легкоплавкие соединения, образуемые флюсами с пустой породой руды, концентрата и золой топлива, называют *шлаками*. В качестве флюсов используется *известняк*, иногда *доломит*.

Каменноугольный кокс в современном доменном производстве играет двоякую роль. Во-первых, служит топливом и обеспечивает нагрев печного пространства до необходимой температуры и, во-вторых, обеспечивает восстановление окислов железа. Каменноугольный кокс содержит 82-88 % твердого углерода, от 5 до 10 % золы и от 0,5 до 2 % серы.

Агломерат и *окатыши*. Для нормальной работы доменной печи ее необходимо загружать кусковым материалом оптимального размера. Наиболее удобным материалом для доменной плавки являются куски руды размером от 30 до 100 мм в поперечнике. Поэтому до-

бываемые на рудниках куски руды просеивают через грохоты, и куски более 100 мм в поперечнике подвергают дроблению. При дроблении материалов, как и при добыче руды в рудниках, наряду с крупными кусками образуется мелочь, не пригодная к плавке. Возникает необходимость окускования этих материалов до нужных размеров.

Наиболее широко в металлургии применяется *агломерация* (*спекание*), процесс, в результате которого образуется ноздревато-пористый черно-серый продукт спекания, называемый *агломератом*. Процесс спекания проводят на ленточных агломерационных машинах непрерывного действия. Рудную мелочь и колошниковую пыль смешивают с небольшим количеством (8-12 %) мелкого кокса, слегка увлажняют и хорошо перемешивают. Затем поджигают, в результате горения развивается высокая температура (до 1500°С), куски руды склеиваются и образуется продукт спекания.

С 50-х гг. XX в. в черной металлургии применяют новый метод окускования – производство *окатышей*. Рудную мелочь и пыль смешивают с небольшим количеством тонкоизмельченного дешевого связующего, обычно глины или извести. После небольшого увлажнения (до 8-10 %) эту смесь помещают в смеситель в виде барабана или наклонной неглубокой чаши. Рудная шихта, вращаясь в барабане, пересыпается с места на место, слипается, образуя круглые окатыши диаметром 25-30 мм. Затем окатыши для увеличения прочности сушат или обжигают.

Обогащение. Богатые руды, содержащие 50 % и более какого-либо металла и подлежащие плавке, встречаются редко, и в промышленности используют более бедные руды, прямая плавка которых дорога, а иногда и невозможна. Такие руды предварительно подвергают *обогащению*. Обогащением называют обработку руды, не изменяющую химического состава основных минералов и их агрегатного состояния. С целью обогащения из руды удаляют часть пустой породы, в результате в оставшейся части (*концентрате*), процентное содержание рудной массы увеличивается. Отделенную от руд пустую породу называют *хвостами*. В зависимости от характера рудных минералов в технике применяют различные способы обогащения. Наиболее широко применяются рудоразработка, магнитное, гравитационное и флотационное обогащение.

Рудоразборка – самый простой способ обогащения, на конвейере по цвету, блеску или форме кусков (иногда при специальном освещении) отбирают либо крупные куски богатой руды, либо пустую породу.

Магнитное обогащение применяют для минералов, имеющих большую магнитную восприимчивость. Такие минералы отделяют от других минералов магнитом или электромагнитом. Магнитную сепарацию с успехом применяют для обогащения бедных железных руд, имеющих вкрапления магнетита, а также для очистки или сортировки металлических отходов (стружки, опилки, лом).

Гравитационное обогащение основано на различии в плотности и скорости падения зерен минералов в жидкостях и на воздухе. Простейший его вид – промывка водой железных руд для отделения пустой породы.

Флотация как метод обогащения находит применение в металлургии цветных металлов, чаще для бедных руд цветных металлов и обязательно для комплексных руд, для железных руд обогащение флотацией применяют редко. Этот метод основан на различной сма-

чиваемости водой поверхности полезных ископаемых, особенно после обработки минералов флотационными реагентами. При флотации минералы, плохо смачиваемые водой, прилипают к воздушным пузырькам и переходят вместе с ними в пенный слой (концентрат), а другие, хорошо смачиваемые минералы, тонут и остаются в пульпе (хвосты).

Подготовка руд к доменной плавке способствует ускорению плавки и снижает расход дорогостоящего топлива.

Выплавка чугуна. Доменный цех завода с полным металлургическим циклом имеет, как правило, не менее 3 доменных печей с воздухонагревателями и системой газоочистки. Запас шихты (кокса, агломерата или руды, а также флюсов) хранится в бункерах эстакады (общей для всех доменных печей). На многих металлургических заводах в состав доменного цеха входит так называемый рудный двор (рис. 1), где хранится основной запас железных руд, укладываемых в штабеля рудными перегружателями. В доменном цехе имеются также машины для разливки чугуна.

Доменная печь представляет собой шахтную печь круглого сечения, футерованную огнеупорной кладкой (верхняя часть шамотным кирпичом, нижняя – преимущественно углеродистыми блоками). Для предотвращения разрушения кладки и защиты кожуха печи от высоких температур используют холодильники, в которых циркулирует вода. Кожух печи и колошниковое устройство поддерживаются колоннами, установленными на фундаменте. Основные части доменной печи – колошник, шахта, распар, заплечики и горн.

Шихту загружают в домну определенными порциями – *колошами* – по мере сгорания топлива и выпуска чугуна и шлака. Шихта подается скипами, реже ленточными конвейерами. Скипы разгружаются в печь через приемную воронку. Из приемной воронки шихта поступает в засыпной аппарат сначала на малый конус, а затем на большой конусы. Большой конус опускается при закрытом малом, что предотвращает прорыв газов из печи в атмосферу. Для приемки шихтовых материалов и отвода газов предназначена верхняя часть доменной печи – *колошник*.

Коническая часть *шахты* облегчает опускание проплавляемых материалов и распределение газов по поперечному сечению печи. Сужение *заплечиков* книзу связано с уменьшением объема материалов при переходе в жидкое состояние.

Через *фурмы*, установленные по окружности *горна*, в печь под давлением 300 КПа подается воздух, предварительно подогретый до 900-1200°С в воздухонагревателях. Через фурмы вводится также дополнительное топливо (природный газ, мазут или угольная пыль). Нижнюю часть горна называют *лещадью*, на ней скапливаются продукты доменной плавки. Продукты доменной плавки выпускаются в чугуновозные и шлаковые ковши через чугунные и шлаковые летки, расположенные в нижней части горна. Образующийся в печи колошниковый газ отводится через газоотводы, расположенные в верхней части доменной печи.

Расстояние между осью чугунной летки и нижней кромкой большого загрузочного конуса в опущенном состоянии называется полезной высотой доменной печи, а соответствующий объем – *полезным объемом доменной печи*.

Доменная печь работает по принципу противотока. Шихтовые материалы загружают сверху, и по мере сгорания топлива и плавления руды они опускаются вниз. Навстречу им

движется поток горячих газов. При этом происходят процессы горения топлива, восстановления и науглероживания железа и других элементов, образования шлака.

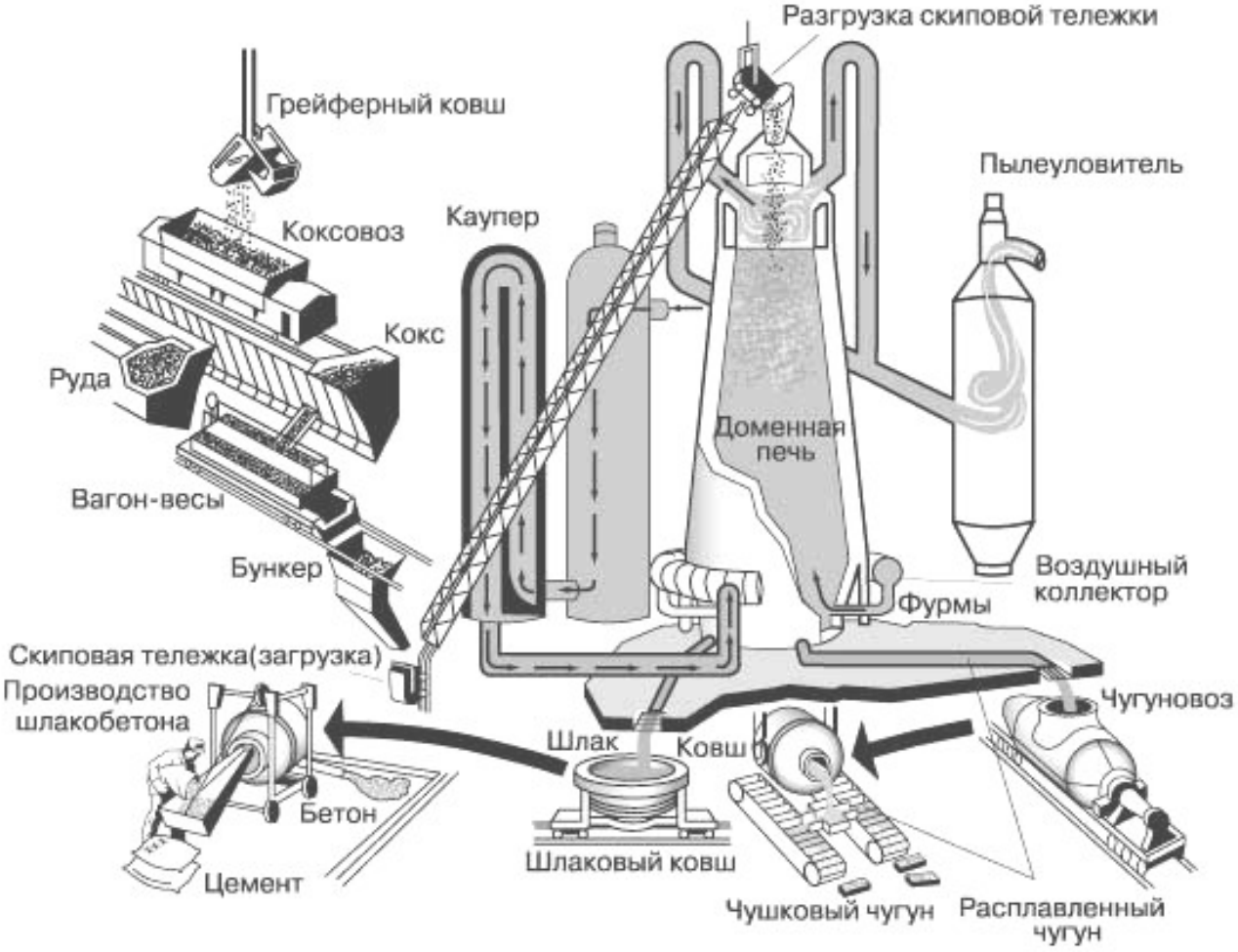


Рис. 1. Доменный цех

Физико-химические процессы, протекающие в доменной печи, очень сложны и многообразны. Условно процесс, протекающий в доменной печи, разделяют на следующие этапы: горение углерода топлива, разложение компонентов шихты, восстановление оксидов, науглероживание железа и шлакообразование. Эти этапы процесса проходят в печи одновременно, переплетаясь друг с другом, но с разной интенсивностью, на разных уровнях печи.

Горение углерода топлива происходит главным образом возле фурм, где основная масса кокса, нагреваясь, встречается с нагретым до температуры 900-1200°С кислородом воздуха, поступающим через фурмы. Образовавшийся при этом углекислый газ ($2C+O_2=CO_2$) вместе с азотом воздуха, поднимаясь, встречается с раскаленным коксом и взаимодействует с ним по экзотермической реакции $CO_2+C_{тв.}=2CO_2$. Эта реакция обратима, причем ее равновесие сдвигается в зависимости от изменения температуры. Иногда в фурмы вводят природный газ или пар, который, реагируя с раскаленным коксом, окисляет его при высоких температурах: $H_2O_{пар}+C_{тв}=CO+H_2O$.

Разложение компонентов шихты протекает различно – в зависимости от ее состава. Например, при работе на буром железняке разрушаются гидраты окиси железа и разлагается известняк по реакции: $CaCO_3=CaO+CO_2$.

Восстановление окислов может происходить окисью углерода, углеродом и водородом. Главной целью доменного процесса является восстановление железа из его оксидов.

Главную роль в восстановлении оксидов играет окись углерода. Для начала процесса восстановления необходима температура не ниже 570°С и значительный избыток СО. Согласно теории академика А.А. Байкова, восстановление оксидов железа идет ступенчато по следующей схеме: $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$.

Образующееся в печи металлическое железо находится сначала в твердом виде (губчатое железо), поскольку имеет высокую температуру плавления. В присутствии окиси углерода губчатое металлическое железо постепенно взаимодействует с углеродом по реакции: $3Fe+CO \rightarrow Fe_3C+CO_2$. Температура плавления этого железа понижается до 1150-1200°С. Науглероженное железо (1,8-2,0 % С) переходит в жидкое состояние и стекает каплями между кусками раскаленного кокса на лещадь печи. Во время перемещения капельки железа дополнительно насыщаются углеродом до примерно 3,5-4,0 % С, т.е. до обычного содержания углерода в жидком чугуне.

Одновременно с восстановлением и науглероживанием железа происходит восстановление из шихты других элементов (Mn, Si, P), которые также переходят в чугун. Окислы марганца MnO_2, Mn_2O_3 и Mn_3O_4 восстанавливаются газами с выделением тепла. В дальнейшем MnO восстанавливается до Mn только углеродом с затратой тепла примерно в два раза большей, чем при восстановлении Fe. Кремний также восстанавливается только углеродом при высоких температурах по эндотермической реакции.

Шлакообразование активно развивается при прохождении шихты в области распара после окончания процессов восстановления окислов железа. Шлак состоит из невосстановившихся окислов SiO_2, Al_2O_3 и CaO (90-95 %), MgO (2-10 %), FeO (0,1-0,4 %), MnO (0,3-3 %), золы топлива, а также флюса, специально добавляемого в шихту, чтобы обеспечить достаточную жидкотекучесть шлака при температуре 1400-1450°С.

Состав шлака зависит от состава пустой породы руды, а также от того, какой чугун получают в доменной печи.

Продукты доменной плавки. Продуктами доменной плавки являются *чугун*, *шлаки* и *газы*, выделяющиеся из доменной печи.

К основным видам чугуна, выплавляемого в доменных печах, относятся *передельный чугун*, *литейный чугун* и *специальные чугуны*, например, зеркальный чугун (10-25 % Mn и примерно 2 % Si) и ферросплавы.

Передельные чугуны предназначены для производства стали в сталеплавильных агрегатах. Различают мартеновский, фосфористый и высококачественный чугуны. Мартеновский чугун содержит 3,5-4,5 % С; 0,15-0,3 % Р и сотые доли % S. Фосфористый – 1-2 % Р; 0,32-0,35 % S; высококачественный – до 4 % С; не более 0,05 % Р и не более 0,025 % S.

В значительных количествах в доменных печах выплавляются и литейные коксовые чугуны, содержащие 3,5-4,6 % С и 0,81-3,6 % Si, и используемые для производства чугунных отливок.

К побочным продуктам доменной плавки относятся *газы*, *шлаки* и *пыль*. *Доменный газ*, имеющий теплоту сгорания 3,6-4,6 Мдж/м^3 (850-1100 ккал/м^3), после очистки от пыли используется в воздухонагревателях, а также в заводских котельных установках, коксохимических, агломерационных и некоторых др. цехах. *Доменный шлак* применяется главным образом в промышленности строительных материалов (шлаковата, шлакобетон и пр.). *Колошниковая пыль*, выносимая из доменной печи и улавливаемая системой газоочистки, содержащая 30-50 % Fe, возвращается в шихту доменных печей после ее предварительного окускования (главным образом путем агломерации).

Показатели работы доменной печи зависят главным образом от качества сырых материалов и степени подготовки их к плавке. Основные показатели: *суточная производительность* доменной печи (т) и *расход кокса* на 1 т чугуна.

Производительность доменных печей иногда характеризуется *коэффициентом использования полезного объема* (КИПО), т.е. отношением полезного объема (м^3) к суточной выплавке передельного чугуна (т). Производительность доменной печи объемом 3000 м^3 – 7000 т чугуна в сутки. Большой экономический эффект дает эксплуатация крупных доменных печей объемом 5000-6000 м^3, в которых за сутки производят более 10000 т чугуна, их КИПО достигает 0,5-0,6.

Расход кокса на единицу выплавляемого чугуна имеет большое экономическое значение вследствие высокой стоимости кокса. Применение дополнительного топлива позволяет уменьшить расход кокса на 8-20 % и снизить благодаря этому себестоимость чугуна. Совершенствование доменной плавки направлено на улучшение подготовки сырых материалов к плавке, увеличение мощности (объема) доменных печей, внедрение прогрессивной технологии, автоматического управления ходом доменной плавки.

Выпускаемый из доменной печи чугун поступает в ковши вместимостью 80-100 т, футерованные огнеупорным кирпичом и установленные на железнодорожных платформах. Передельный чугун перевозят в ковшах в сталеплавильные цеха и заливают в миксеры – цилиндрические хранилища жидкого чугуна, вмещающие иногда до 2000 т металла. Литейный чугун отвозят к разливочной машине, где его разливают в изложницы.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные этапы полного производственного цикла в черной металлургии?
2. Какие технологии выделяют в черной металлургии в зависимости от используемого сырья?
3. Перечислите и кратко охарактеризуйте исходные материалы, применяемые в доменном производстве.
4. Какие руды принято называть полиметаллическими?
5. В чем заключается подготовка руды к доменной плавке?
6. Опишите технологию производства окатышей и агломерата.
7. Охарактеризуйте наиболее применимые способы обогащения.
8. Что представляет собой доменная печь?
9. Какие основные физико-химические процессы протекают в доменной печи?
10. Что является главной целью доменного производства?

11. Перечислите продукты доменной плавки и опишите их назначение.

12. Назовите основные показатели работы доменной печи.

1.2 Сталеплавильное производство

Сталеплавильное производство включает два основных технологических процесса – *выплавку* и *разливку стали*.

Наиболее древний способ получения стали в тестообразном состоянии – *сыродутный процесс*, в основе которого лежало восстановление железа из руд древесным углем в горнах (позднее в небольших шахтных печах). Для получения литой стали древние мастера применяли *тигельную плавку* – расплавление мелких кусков стали и чугуна в огнеупорных тиглях. Тигельная сталь характеризовалась весьма высоким качеством, но процесс был дорогим и малопроизводительным. Таким способом изготовляли, в частности, *булат* и его разновидность – *дамасскую сталь*. Тигельный процесс просуществовал до начала XX в. и был полностью вытеснен *электроплавкой*.

В XIV в. возник *кричный передел*, заключавшийся в рафинировании предварительно полученного чугуна в так называемом кричном горне. Двухстадийный процесс с получением чугуна и последующим переделом его в сталь является основой и современных схем производства стали. В конце XVIII в. начало применяться *пудлингование*, при котором, как и при кричном переделе, исходным материалом был чугун, а продуктом – тестообразный металл (*крица*), качество металла при этом было выше, а сам процесс характеризовался более высокой производительностью.

Массовое производство литой стали стало возможным после появления во 2-й половине XIX в. *бессемеровского процесса* и *мартеновского процесса*, а затем и *томасовского процесса*. В конце XIX в. начала применяться выплавка стали в электрических печах. До середины XX в. главенствующее положение среди способов производства стали занимал мартеновский процесс, на долю которого приходилось около 80 % выплавляемой в мире стали. В 50-х гг. XX в. был внедрен кислородно-конвертерный процесс, причем в последующие годы его роль резко возросла.

В современной металлургии важнейшие способы выплавки стали – кислородно-конвертерный процесс, мартеновский процесс и электросталеплавильный процесс. Соотношение между этими видами сталеплавильного производства меняется: в начале 50-х гг. XX в. в мартеновских печах выплавлялось около 80 % производимой в мире стали, в середине 70-х гг. главенствующее положение занял кислородно-конвертерный процесс.

В 1997 г. мировое производство стали достигло рекордного уровня 798,8 млн.т. Резко увеличив производство стали, подняли свой рейтинг КНР, Республика Корея, а также Бразилия. В то же время доля стран Восточной Европы в целом, бывшего СССР (и в том числе России) в мировом производстве стали снизилась почти в 2 раза (табл. 2).

Таблица 2

Перечень и рейтинг стран – крупнейших производителей стали

Страны	1990 г.		1999 г.	
	млн.т.	рейтинг	млн.т	рейтинг
КНР	66,3	4	123,3	1
США	89,7	2	96,1	2
Япония	110,3	1	94,2	3
Россия	89,6	3	51,5	4
Германия	44,0	6	42,1	5
Республика Корея	23,1	8	41,0	6
Украина	52,6	5	26,8	7
Бразилия	20,6	9	25,0	8-9

Сущностью любого металлургического *передела чугун в сталь* является снижения содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки (табл. 3).

Таблица 3

Состав передельного чугуна и низкоуглеродистой стали

Материал	C	Si	Mn	P	S
Передельный чугун	4-4,4	0,76-1,26	до 1,75	0,15-0,3	0,03-0,07
Сталь низкоуглеродистая	0,14-0,22	0,12-0,3	0,4-0,65	0,05	0,055

Шихтовые материалы. К основным материалам, используемым для производства стали, относятся собственный и привозной *стальной лом* (*скрап*), *передельный чугун*, *руда*, *прокатная окалина*, *ферросплавы*, *топливо*, *кислород* и *шлакообразующие*.

Процессы выплавки стали осуществляются в несколько этапов.

1. Расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла.

Расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла происходит под воздействием теплоты, подводимой извне или образующейся при окислении примесей Fe. На этом этапе температура металла невелика, интенсивно происходит окисление железа, т.к. оно в наибольшем количестве содержится в жидком металле, а также окисление примесей (Si, P, Mn) по реакциям: $2Fe+ O_2 \rightarrow 2FeO$; $2FeO+2Si \rightarrow Fe+SiO_2$; $FeO+Mn \rightarrow Fe+MnO$; $5FeO+2P \rightarrow 5Fe+P_2O_5$; $FeO+C \rightarrow CO+Fe$.

Наиболее важная задача этого этапа: *удаление фосфора* – одной из вредных примесей стали. Присутствие оксида кальция CaO, являющегося более сильным основанием, чем оксид железа FeO, обеспечивает протекание реакции: $2P+5FeO+4CaO \rightarrow (CaO)_4 \cdot P_2O_5+5Fe$ и переводит фосфор в шлак.

Для удаления фосфора из металла необходимы невысокие температуры ванны металла и шлака, но достаточное количество в шлаке окиси железа. Для повышения содержания FeO в шлаке в сталеплавильную печь в этот период плавки добавляют окалину, железную руду, наводя железистый шлак.

По мере удаления фосфора из металла содержание фосфора в шлаке увеличивается. Изменяя состав шлака, можно менять соотношения между количеством примесей в металле и шлаке так, что нежелательные примеси будут удаляться из металла в шлак. Убирая шлак с поверхности и наводя новый шлак путем введения флюса требуемого состава, можно удалять вредные примеси (S, P) из металла. Поэтому регулирование состава шлака с помощью флюсов является одним из основных путем управления металлическими процессами.

2. «Кипение» металлической ванны.

Этот этап начинается по мере прогрева металлической ванны до более высоких температур, чем на первом этапе. При повышении температуры металла более интенсивно протекает реакция окисления углерода, происходящая с поглощением теплоты: $FeO+C \rightarrow Fe+CO$.

Поскольку в металле содержится больше углерода, чем других примесей, то для окисления углерода в металл вводят значительное количество руды, окалины или вдувают кислород. Образующийся в металле оксид железа реагирует с углеродом, пузырьки оксида углерода CO выделяются из жидкого металла, вызывая «кипение» ванны.

При «кипении» металлической ванны *уменьшается содержание углерода* в металле до требуемого, *выравнивается температура* по объему ванны, частично *удаляются неметаллические включения*, прилипающие к всплывающим пузырькам CO, а также другие *газы*, проникающие в пузырьки CO. Все это способствует повышению качества металла. Поэтому этап «кипения» ванны является основным этапом в процессе выплавки стали.

В этот же период создаются условия для *удаления серы из стали*. Сера в стали находится в виде сульфида FeS, который растворяется также в шлаке. Сульфид железа FeS, растворенный в шлаке, взаимодействует с оксидом кальция CaO, также растворенным в шлаке: $FeS+CaO \rightarrow CaS+FeO$. Эта же реакция протекает на границе металл – шлак (между FeS, растворенном в стали, и CaO, растворенном в шлаке). Образующееся соединение CaS растворимо в шлаке, но не растворимо в железе, поэтому сера удаляется в шлак.

Поэтому при плавке в печах с основной футеровкой, где в качестве флюса используют $CaCO_3$, можно снизить содержание вредных примесей в стали, и, следовательно, в этих печах можно выплавлять сталь из шихты любого химического состава.

В сталеплавительных печах с кислой футеровкой нет условий для уменьшения количества фосфора и серы, т.к. использовать основной шлак с высоким содержанием CaO нельзя из-за возможности разрушения футеровки. Поэтому в кислых печах можно выплавить сталь только из шихтовых материалов с малым количеством серы и фосфора.

Содержание серы и фосфора в судокорпусных сталях строго ограничено и не должно превышать 0,04 % каждого из элементов. Современные методы выплавки стали не обеспечивают полного удаления серы и фосфора, в связи с чем рекомендуется использовать исходную шихту с минимальным его содержанием.

3. Раскисление стали.

Раскисление стали заключается в восстановлении оксида железа, растворенного в жидком металле.

При плавке повышение содержания кислорода в металле необходимо для окисления примесей, но в готовой стали кислород – вредная примесь, т.к. понижает механические свойства особенно при высоких температурах.

При раскислении стали содержание кислорода в металле снижается до уровня, исключающего возможность окислительных реакций в слитке. Образующиеся при этом твердые, жидкие или газообразные продукты раскисления необходимо удалить до затвердевания слитка, т.к. они снижают качество стали. Содержание кислорода в стали после раскисления снижается на порядок.

К основным *стадиям процесса раскисления* относятся: *растворение раскислителя* в жидком металле, *реакции между кислородом* и *раскислителем* и *выделение продуктов раскисления*.

Для раскисления и легирования стали применяют *специальные чугуны* или *доменные ферросплавы*, составляющие 2-3 % всего производства чугуна. Ферросплавы – это сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами. К ним относятся: *ферросилиций* (до 18 % Si до 3 % Mn), *ферромарганец* (до 85 % Mn и до 2 % Si), зеркальный чугун (10-25 % Mn и до 2 % Si).

Марганец и *кремний* являются важнейшими компонентами современных судокорпусных сталей повышенной прочности. Марганец вводят в сталь при выплавке для ее раскисления, а также для уменьшения вредного влияния серы. Содержание марганца обычно ограничивают 1,4-1,6 %. При содержании более 1,5 % Mn наряду с интенсивным повышением прочности наблюдается резкое падение ударной вязкости и характеристик пластичности. Кремний при концентрациях, превышающих 0,5 %, также отрицательно влияет на пластичность и вязкость судокорпусных сталей.

Основными способами раскисления стали являются осаждающее раскисление, диффузионное раскисление, специальные способы раскисления (обработка синтетическими шлаками, раскисление в вакууме).

Осаждающее раскисление – в жидкую сталь вводят раскислители, содержащие Mn, Si, Al и др. элементы, которые обладают большим сродством к кислороду, чем железо. Образующиеся продукты раскисления MnO, SiO_2, Al_2O_3 и др. имеют меньшую плотность, чем сталь, и удаляют шлак.

Наиболее сильным раскислителем является Al, т.к. обладает очень высоким сродством к кислороду. Лучше всего использовать комплексные раскислители. По согласованию с Регистром РФ, применяющийся для раскисления стали алюминий, может быть частично заменен титаном или ниобием, измельчающими зерно.

Диффузионное раскисление осуществляют раскислением шлака. Раскислители в измельченном виде загружают на поверхность шлака. Раскислители, восстанавливая оксид железа, уменьшают его содержание в шлаке. В соответствии с законом распределения оксид железа, растворенный в стали, начнет переходить в шлак. Образующиеся при таком способе раскисления оксиды остаются в шлаке, а восстановленное железо переходит в сталь, что уменьшает содержание в ней неметаллических включений и повышает ее качество.

Обработка расплава железа синтетическими шлаками широко применяется на практике. Синтетический шлак, состоящий в основном из Al_2O_3 и CaO, выплавляют в электропечи. Шлак заливают в ковш и туда же с высоты 3-6 м выливают струю металла из печи. При перемешивании стали и шлака поверхность их взаимодействия резко возрастает, и реакции между ними протекают гораздо быстрее, чем в плавильной печи. Обработанная таким спосо-

бом сталь содержит меньше кислорода и серы, неметаллических включений. Повышается ее прочность и пластичность. Такие стали применяют для изготовления ответственных деталей машин.

Раскисление в вакууме проводят для уменьшения содержания в металле газов и неметаллических включений. При понижении давления (0,27-0,67 кПа) из жидкой стали выделяются водород и азот. Всплывающие пузырьки газов захватывают неметаллические включения, в результате чего содержание их в стали снижается. Все это улучшает прочность и пластичность стали.

В зависимости от степени раскисления (раскисленности) выплавляют спокойные, кипящие и полуспокойные стали.

Спокойная сталь получается при полном раскислении в печи и в ковше. В такой стали весь кислород находится в связанном состоянии, газов нет, она плотнее. Спокойная сталь используется для изготовления деталей ответственного назначения (рессор и коленвалов).

Кипящая сталь раскислена в печи не полностью. Ее раскисление продолжается в изложнице, при затвердевании слитка, благодаря взаимодействию оксида железа и углерода, содержащихся в металле. Образующийся оксид углерода выделяется из стали, способствует удалению из стали азота и водорода. Газы выделяются в виде пузырьков, вызывая ее «кипение». Кипящая сталь практически не содержит неметаллических включений – продуктов раскисления, поэтому обладает хорошей пластичностью, но менее плотная и имеет газовые включения. Кипящие стали применяют для неответственных деталей (корпусные детали).

Полуспокойная сталь имеет промежуточную раскисленность между спокойной и кипящей. Частично она раскисляется в печи и в ковше, а частично в изложнице благодаря взаимодействию оксида железа и углерода, содержащихся в стали. Содержит немного газов, служит для изготовления проволоки и мостовых конструкций.

4. Легирование стали.

Легирование стали осуществляется введением ферросплавов или чистых металлов в необходимом количестве в расплав.

Легирующие элементы, сродство к кислороду которых меньше, чем у железа (Ni, Co, Mo, Cu), в печь в любое время, т.к. при плавке и разливке эти элементы практически не окисляются.

Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду больше, чем у железа (Si, Mn, Al, Cr, V, Ti и др.), вводят в металл в конце плавки после или одновременно с раскислителем, а иногда непосредственно в ковш.

Для получения необходимого комплекса свойств судостроительные стали легируют никелем, хромом, молибденом, медью, ниобием и ванадием.

Для измельчения зерна в судокорпусные стали обычно добавляют алюминий, который образует с растворенными в жидком металле азотом и кислородом соединения AlN и $A1_2O_3$. Наибольший эффект обеспечивает модифицирование алюминием, титаном и ванадием. Образующиеся при затвердевании высокодисперсные включения нитридов и карбидов типа AlN, VN, TiN, V(CN) и других способствуют получению мелкозернистой структуры стали.

В состав высокопрочных судостроительных сталей, применяемых для изготовления тяжелонагруженных сварных конструкций, кроме углерода (до 0,14 %), кремния и марганца, ис-

пользуемых в качестве раскислителей, входят около 1 % Cr, 2-3 % Ni, до 0,3 % Mo и до 1 % Cu.

Продукты сталеплавильного производства: сталь, шлаки, отходящие газы и пыль.

Основные способы выплавки стали

Конвертерные способы

Изобретателем конвертерного способа получения стали считают англичанина Г. Бессемера, впервые предложившего и осуществившего в 1854-1856 гг. получение стали без расхода топлива, путем продувки воздуха через расплавленный чугун (*бессемеровский процесс*). Перед применившимися ранее способами получения стали бессемеровский способ имел два неоспоримых преимущества – очень высокую производительность, отсутствие топлива. Конвертеры бессемеровского способа имели кислую (динасовую) футеровку, поэтому не все чугуны могли в них перерабатываться. Получаемая сталь загрязнялась серой, фосфором и была хрупка из-за насыщения ее азотом, содержащимся в воздухе.

Бессемеровский процесс развил в 1878 г. английский металлург С. Дж. Томас. Он внедрил в практику основную футеровку конвертеров (доломитом). Такая футеровка позволяла удалять из чугуна фосфор и частично серу (*томасовский процесс*). Недостатки этого процесса – повышенное содержание азота и кислорода, большая степень загрязнения шлаковыми неметаллическими включениями.

В настоящее время получили широкое распространение конвертерные способы, где для продувки вместо воздуха применяют кислород (*кислородно-конвертерное производство*).

Кислородно-конвертерный процесс

Конвертером называют большую стальную реторту, футерованную огнеупором. Конвертер имеет цилиндрическую часть, легко заменяемое днище и конусообразную горловину. Рабочее пространство – цилиндрическая часть конвертера крепится в литом, стальном кольце с двумя цапфами. В процессе работы конвертер может проворачиваться на цапфах вокруг горизонтальной оси на 360° при помощи приводных механизмов (спецпривода) для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака.

Кислородный конвертер (рис. 2) с верхней продувкой представляет собой грушевидный сосуд (с открытой верхней горловиной) диаметром около 6 м и высотой около 10 м, облицованный изнутри основным кирпичом. В кислородно-конвертерном производстве преобладают конвертеры емкостью 100-350 т.

В вертикальном положении конвертера его горловина находится под вытяжным колпаком дымоотводящего камина. Боковое выпускное отверстие, имеющееся с одной стороны, позволяет отделить металл от шлака при сливе.

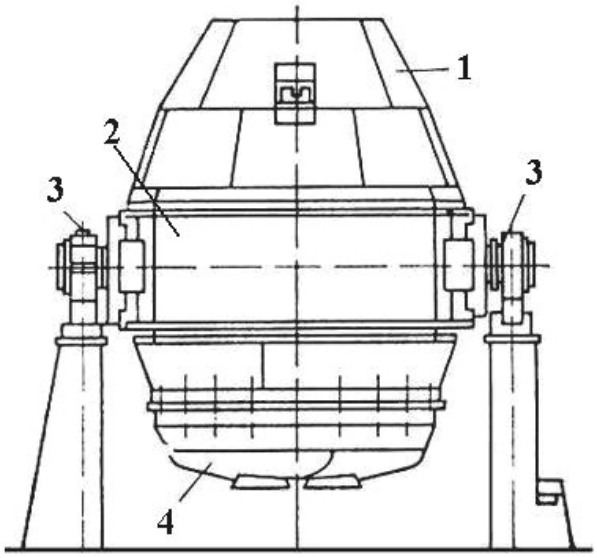


Рис. 2. Кислородный конвертер: 1 – горловина для загрузки, 2 – цилиндрическая часть, 3- стальное кольцо с цапфами; 4 – съемное днище

Шихтовыми материалами кислородно-конверторного процесса являются жидкий передельный чугун; стальной лом (не более 30 %); известь для наведение шлака; железная руда; боксит Al_2O_3 и плавиковый шпат CaF_2, применяемые для разжижения шлака.

Перед плавкой конвертер наклоняют, через горловину с помощью завалочных машин загружают скрап и заливают чугун при температуре 1250-1400°С. После этого конвертер поворачивают в вертикальное рабочее положение. Внутрь его вводят водоохлаждаемую форму и через нее подают технический чистый кислород под давлением 0,9-1,4 МПа.

Одновременно с началом продувки в конвертер загружают известь, боксит, железную руду. Струи кислорода проникают в металл, вызывают его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Благодаря интенсивному окислению примесей чугуна при взаимодействии с кислородом в зоне под фурмой развивается температура до 2500°С.

Подачу кислорода заканчивают, когда содержание углерода в металле соответствует заданному. После этого конвертер поворачивают и выпускают в ковш, раскисление производят в ковше осаждающим методом; затем из конвертера сливают шлак.

Плавка в конвертерах заканчивается через 25-50 мин.

В кислородных конвертерах выплавляют конструкционные стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные. Можно выплавлять низколегированные (до 2-3 % легирующих элементов) стали, при этом легирующие элементы вводят в ковш. Сортамент стали, получаемой этим способом, непрерывно расширяется, по качеству кислородно-конвертерная легированная сталь не уступает мартеновской стали и электростали соответствующих марок.

Кислородно-конвертерный процесс более производительный (400-500 т/ч стали), чем плавка стали в мартеновских печах. Общий расход технического кислорода на получение 1 т стали в конвертере составляет 50-60 $м^3$.

Недостатком кислородно-конвертерного способа получения стали является большое пылеобразование, обусловленное обильным окислением и испарением железа. Это требует обязательного сооружения при конвертерах сложных и дорогих пылеочистительных устано-

вок. В настоящее время разработаны методы и алгоритмы конвертерного процесса, позволяющие контролировать и регулировать ход плавки.

Мартеновский способ

В 1864 г. во Франции инженеру П. Мартену после многочисленных попыток удалось получить на поду пламенной печи жидкую сталь, до этого этим путем получали сталь в тестообразном состоянии. П. Мартен применил для сталеплавильной печи *принцип регенерации тепла отходящих печных газов* для подогрева топлива и воздуха, подаваемого в печь.

Современные мартеновские печи отапливают обычно смесью доменного и коксовального (иногда природного или мазута) газов и оборудуют 4 регенераторами с насадками. Продукты горения из рабочего пространства печи направляются в одну пару регенерата и нагревают их садку, затем впускаются в дымовую трубу. В это время газовое топливо и воздух подают в печь через вторую пару регенераторов, насадка которых была нагрета раньше. Через некоторое время с помощью автоматически переключающихся клапанов меняется направление входа печных газов и подачи топлива.

Мартеновские печи строят разной вместимостью (10-500 т). Мартеновская печь имеет рабочее пространство, ограниченное снизу подиной, сверху сводом, а с боков – передней и задней стенками. Загружают в печь твердые материалы через завалочные окна.

Газ подают в печь по центральному каналу, воздух по двум боковым. Сходясь в рабочем пространстве печи, эти каналы образуют так называемую головку печи, формирующую газовое пламя. Образовавшийся факел направлен на шихту. Факел имеет температуру 1750-1800°С и нагревают рабочее пространство печи и шихту, в результате чего происходит окисление примесей шихты при плавке.

Отходящие газы, имеющие температуру 1500-1600°С, проходят очистные устройства и направляются в регенератор, где нагревают футеровку (насадку) до 1250-1280°С. Когда футеровка достаточно нагрета, направление потоков через печь меняется на обратное. Поступающие воздух и газ воспринимают тепло от кирпичей насадки, а отходящие газы нагревают вторую камеру. Таким образом, достигается экономия топлива и повышается рабочая температура.

Выпуск стали и шлака из мартеновской печи после завершения плавки проводят через летку в задней продольной стенке печи. На время плавки летку заделывают магнезитовым порошком и огнеупорной глиной.

Мартеновская печь – крупное сооружение, и процесс выплавки стали занимает довольно много времени (в среднем 12-14 часов). На загрузку печи рудой, металлоломом и чугуном уходит около 5 часов, на расплавление – 4 часа и на рафинирование и корректировку окончательного состава стали – еще 3-4.

Несмотря на резкое сокращение доли мартеновского металла в общем объеме производства стали, роль мартеновского процесса в черной металлургии многих стран еще достаточно высока. Использование кислорода, природного газа, огнеупоров высокого качества позволяет значительно интенсифицировать мартеновский процесс. Вместе с тем строительство новых мартеновских печей повсеместно прекращено.

Мартеновским способом в основном выплавляют высококачественную углеродистую и низколегированную сталь. Широко используют мартеновские способы производства для выплавки судостроительных сталей (например корпусных).

Мартеновский способ получил широкое применение благодаря возможности использования различного сырья и разнообразного топлива. Различают следующие разновидности мартеновского производства в зависимости от используемого сырья: *скрап-процесс* и *скрап-рудный процесс*.

При *скрап-процессе* шихта состоит из 60-70 % стального лома и 30-40 % твердого чушкового чугуна, эта разновидность процесса применяется на заводах, не имеющих доменного производства. При *скрап-рудном* процессе применяют шихту, состоящую из 20-50 % скрапа и 50-80 % жидкого чугуна, хранящегося после выпуска из доменных печей в миксерах. Название этого процесса объясняется тем, что для ускорения окисления примесей чугуна в печь загружают красный железняк в количестве 15-30 % от массы металлической части шихты. Скрап-рудным процессом выплавляется основная масса мартеновской стали, которая идет на изготовление проката.

В современном сталеплавильном производстве для кладки стен и пода печей применяются как кислые, так и основные огнеупоры, этим отличается устройство *основных* и *кислых мартеновских печей*.

В *основных мартеновских печах* выплавляют углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества, низко- и среднелегированные. *Кислым мартеновским способом* выплавляют более качественные стали. Стали, выплавляемые в кислых мартеновских печах, содержат меньше водорода и кислорода, неметаллических включений, чем выплавленные в основной печи.

Электросталеплавильное производство

Для выплавки стали применяются *дуговые* и *индукционные* электрические печи. Емкость дуговых печей от 3 до 300 т, индукционных – от 5 кг до 25 т. При плавке в электропечах благодаря достижению высоких температур (до 2000°С) возможны выплавка высоколегированных сталей специального назначения, вакуумная плавка или плавка в контролируемой атмосфере. Время плавки в дуговых электропечах зависит от емкости печей и может составлять от 1 до 3 часов.

В кислородном конвертере и мартеновской печи окислительные условия сохраняются в течение всей плавки, а в дуговой печи легко создать окислительную, восстановительную и нейтральную атмосферы. Угар легирующих и раскислителей в электропечи на 25-30 % меньше, чем в других плавильных агрегатах. Электропечь незаменима для переработки металлизованного сырья, доля которого с каждым годом увеличивается.

Дуговые печи питаются трехфазным переменным током. Они имеют три графитовых электрода, проходящих через свод в камеру печи (рис. 3). Между электродами и металлической шихтой возникает электрическая дуга, теплота которой расплавляет металл. Внутри печь облицована основным или кислым кирпичом в зависимости от ее назначения. Плавильное пространство цилиндрической формы снизу ограничено подом и сверху съемным сводом, который отодвигается во время загрузки печи. Для управления процессом плавки в стенках

предусмотрены рабочее окно и летка с желобом для выпуска стали и шлака. При выпуске печь поворачивается вокруг горизонтальной оси в сторону летки. В основной печи ведут плавку, применяя окисление примесей или метод переплава.

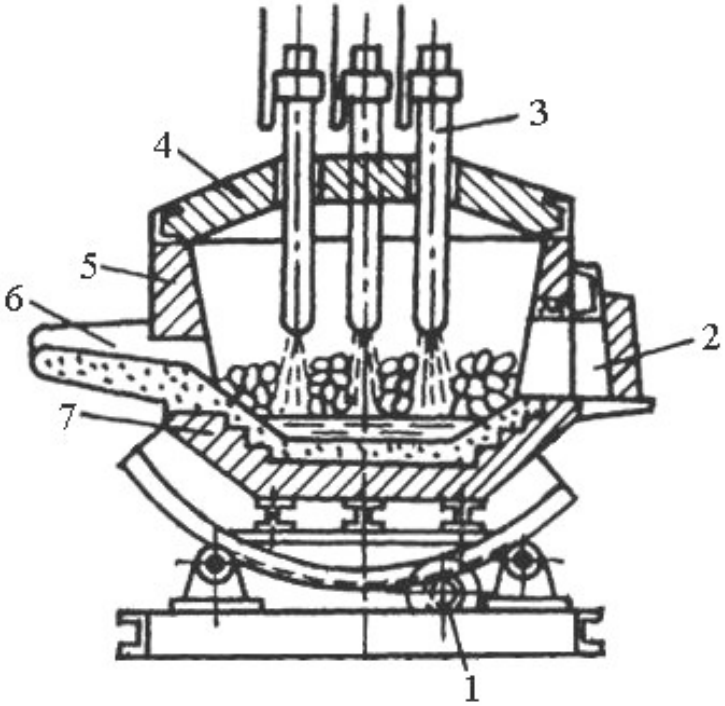


Рис. 3. Схема трехфазной дуговой печи: 1 – механизм поворота печи; 2 – загрузочное окно; 3 – электроды; 4 – свод; 5 – корпус; 6 – желоб для выпуска стали; 7 – под печи

Плавка с окислением во многом сходна с мартеновским скрап-рудным процессом. Обычно ее применяют для получения углеродистых сталей. Шихтой в этом случае служат стальной лом, передельный чугун, кокс и известь в небольшом количестве (2-3 %). Плавка имеет два периода: *окислительный* и *восстановительный*. Во время окислительного периода Si, Mn, C, Fe окисляются кислородом, поступающим из воздуха, оксидов шихты и окалины. Полученные оксиды вместе с известью образуют шлак. Благодаря наличию оксида кальция шлак связывает и удаляет фосфор. Восстановительный период включает раскисление стали, удаление серы и доведение содержания всех компонентов до заданного количества.

Для выплавки качественных высоколегированных сталей специального назначения применяется плавка в индукционных печах. Индукционная плавильная печь представляет собой электротермическую установку для плавки материалов с использованием индукционного нагрева. В промышленности применяют в основном *индукционные тигельные печи* и *индукционные канальные печи*.

Тигельная индукционная печь (рис. 4) состоит из *индуктора*, представляющего собой соленоид, выполненный из медной водоохлаждаемой трубки, и *тигля*, который в зависимости от свойств расплава изготовляется из керамических материалов, а в специальных случаях – из графита, стали и др.

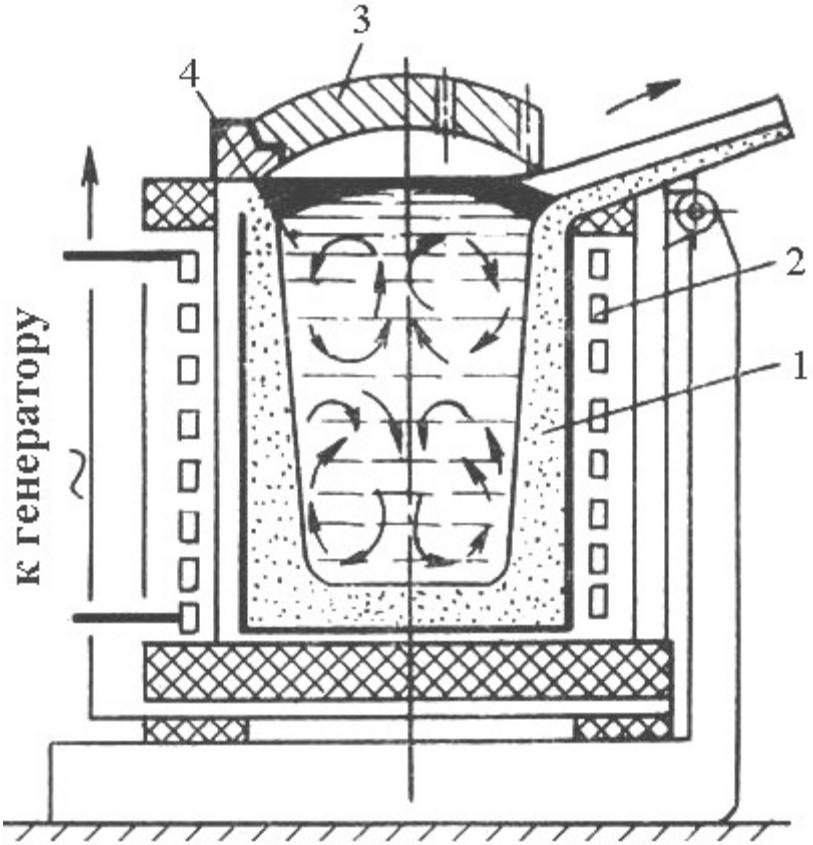


Рис. 4. Схема индукционной тигельной печи: 1 – тигель; 2 – индуктор; 3 –съемный свод; 4 – металл

В тигельных индукционных печах выплавляют сталь, чугун, драгоценные металлы, медь, алюминий и магний. Печи изготовляют с емкостью тигля от нескольких килограммов до нескольких сотен тонн. Питание печей осуществляется токами низких, средних и высоких частот. В канальных индукционных печах выплавляют цветные металлы и их сплавы, чугун. Емкость плавильных ванн печей может быть от нескольких сотен килограммов до сотен тонн. Питание печей осуществляется токами промышленной частоты. Продолжительность плавки в индукционной печи емкостью 1 т составляет около 45 мин.

Индукционные печи применяют для переплава и рафинирования металлов, а также в качестве миксеров (копильников) для хранения и перегрева жидкого металла перед разливкой.

По сравнению с дуговыми печами индукционные печи обладают рядом преимуществ. Отсутствие дуги позволяет выплавлять в индукционных печах металлы с малым содержанием углерода и газов. Возникающие электродинамические силы перемешивают жидкий металл, способствуя выравниванию химического состава и всплыванию неметаллических включений.

Благодаря небольшим размерам индукционные печи помещаются в специальные камеры, где можно создавать любую атмосферу или вакуум. В результате при плавке в индукционных печах получается очень чистая сталь, не содержащая оксидов. Вакуумная плавка дорогостояща и применяется лишь в тех случаях, когда требуется особо прочная и надежная сталь, например для шасси самолетов.

Рафинирование стали

Существующие на практике технологии производства стали не гарантируют получения металла с содержанием менее 0,002-0,004 % азота и менее 0,005 % кислорода (табл. 4). Эти значения на порядок превышают их допустимое содержание.

Таблица 4

Примерное содержание газов в стали различных способов производства

Способ производства	0_2, %	N_2, %	H_2, %
Электрическая печь	0,002-0,004	0,007-0,010	0,0004-0,0006
Мартеновская печь	0,005-0,008	0,004-0,006	0,0003-0,0007
Кислородный конвертер	0,005-0,008	0,002-0,005	0,0001-0,0003

Для уменьшения концентрации газов в расплавленной стали применяют методы *внепечного рафинирования* (очистки от посторонних примесей), а также *рафинирующие* (очищающие) *переплавы.* Эти процессы, в результате которых уменьшается концентрация газов и вредных примесей, позволяют повысить прочность и особенно пластичность сталей, ударную вязкость и сопротивляемость усталости.

Выплавленную в кислородных конвертерах, мартеновских или электрических печах сталь подвергают вакуумированию в исходном состоянии. Ее выдерживают в ковше в течение 10-15 мин в специальных вакуумных камерах с остаточным давлением 265-665 Па. При понижении давления растворимость газов в стали (азота, водорода) уменьшается, и они в виде пузырьков всплывают на поверхность, частично захватывая с собой и неметаллические включения. Чем глубже вакуум, т.е. чем больше разрежена атмосфера над жидким металлом, тем меньше остается в нем кислорода, тем чище и лучше сталь.

Из методов внепечного рафинирования стали широкое применение получила также *обработка жидкими синтетическими шлаками.* Это наиболее простой и дешевый способ очистки стали от примесей. При обработке синтетическим шлаком в разливочный ковш перед выпуском стали из плавильного агрегата наливают предварительно выплавленный в электропечи жидкий шлак, содержащий 55 % CaO, 42 % $A1_2O_3$, до 3 % SiO_2 и MgO и не более 1 % FeO. Затем в ковш по возможности с большей высоты мощной струей выпускают сталь. В результате интенсивного перемешивания стали и шлака поверхность их взаимодействия увеличивается в сотни раз по сравнению с той, которая имеется в печи. Поэтому процессы рафинирования резко ускоряются, и для их протекания требуется уже не 1,5-2 часа, как обычно в печи, а примерно столько времени, сколько уходит на выпуск плавки, т.е. 5-10 мин. Рафинированная сталь отличается низким содержанием кислорода, серы и неметаллических включений, что обеспечивает ей высокую пластичность и ударную вязкость.

Специальная электрометаллургия, которая включает различные виды рафинирующих переплавов заготовки, полученной в обычных сталеплавильных агрегатах (чаще всего в дуговых или индукционных печах) начала интенсивно развиваться примерно в середине 60-х гг.

В результате рафинирующего переплава исходный металл эффективно очищается от неметаллических включений и других нежелательных примесей, повышаются плотность и однородность его структуры, улучшаются свойства стали. К видам рафинирующих переплавов

относятся плавка в *дуговых вакуумных печах* и в *индукционных вакуумных печах*, *электрошлаковый переплав*, *электроннолучевая плавка*, *плазменная плавка*.

Электрошлаковый переплав – электрометаллургический процесс, существенно повышающий качество металлов и сплавов, разработан в начале 50-х г. XX в. в институте электросварки им. Е.О. Патона (Украина). Электрошлаковому переплаву (рис. 5) подвергают ранее выплавленный и прокатанный на расходуемые электроды металл.

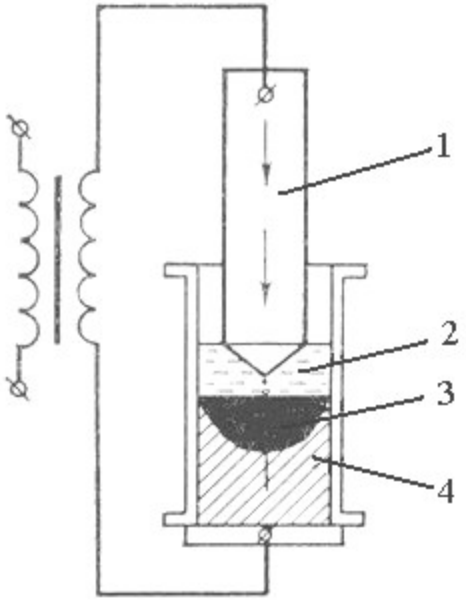


Рис. 5. Установка электрошлакового переплава: 1– расходуемый электрод; 2 – синтетический шлак; 3 – расплавленный металл; 4 – слиток

Электрод опускают в водоохлажденный кристаллизатор со шлаком. К нему и поддону кристаллизатора подводят электрический ток. Выделяющееся в шлаковой ванне тепло вызывает оплавление электрода. Капли жидкого металла, проходя через шлак, образуют под ним металлическую ванну, при затвердевании которой получается слиток. Перенос капель металла через основной шлак способствует удалению из сплава серы (содержание серы снижается в 2-5 раз), неметаллических включений и газов (в 1,5-2,5 раза). Направленная кристаллизация слитка обеспечивает получение плотного и однородного металла.

Способом электрошлакового переплава получают слитки массой от десятков грамм до 200 тонн практически любой формы, определяемой формой кристаллизатора. Наряду с передельными (для прокатки сортовых профилей, труб и листа) и кузнечными (для ковки, прессования и штамповки) слитками производят фасонные отливки (коленчатые валы, корпуса запорной арматуры, сосуды давления, зубчатые колеса и др.).

Вакуумно-дуговой переплав применяют для удаления из металла газов и неметаллических включений. Этот процесс осуществляется в вакуумных дуговых печах с расходуемым электродом. При подаче напряжения между электродом и затравкой, находящейся в охлаждаемой водой медной изложнице, возникает дуга, которая расплавляет металл. Капли его, проходя через зону дугового разряда, дегазируются, заполняют изложницу и, кристаллизуясь, образуют слиток массой до 50 т. Слитки содержат мало газов и неметаллических включений и имеют повышенные характеристики механических свойств.

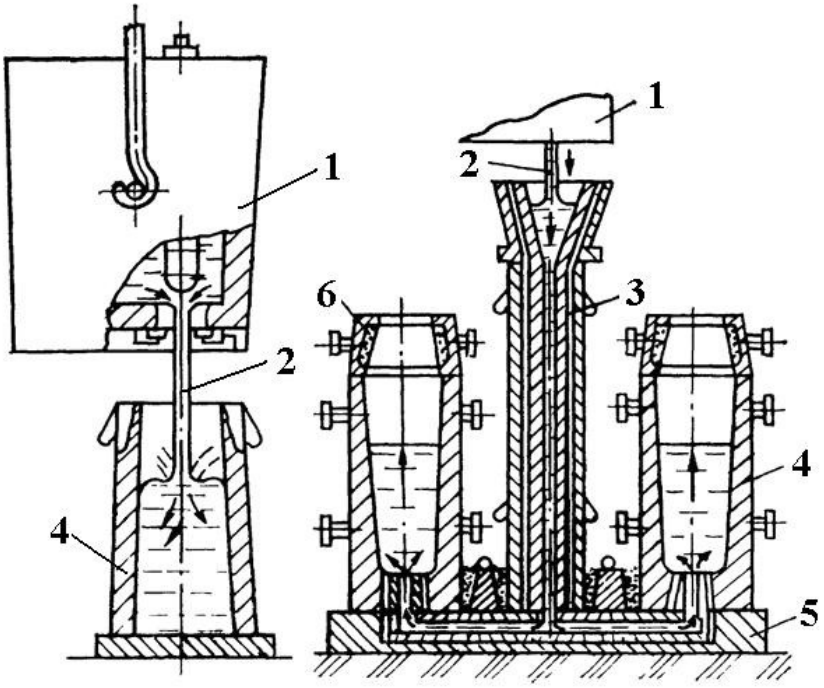
Разливка стали

Полученную в сталеплавильном агрегате сталь выпускают в сталеразливочный ковш, а затем либо разливают в металлические формы – *изложницы*, либо направляют на *установки непрерывной разливки стали*; лишь около 3-5 % всей производимой стали идет на фасонное литье. В результате затвердевания металла получаются стальные *слитки* или *заготовки*, которые в дальнейшем подвергают обработке давлением (прокатке, ковке).

Изложницы представляют собой чугунные (реже стальные) толстостенные формы для получения слитков. Поперечное сечение изложницы выбирают в зависимости от последующей обработки давлением получаемого слитка. Для сортовой прокатки удобнее использовать слитки квадратного сечения, для листовой – слитки прямоугольного сечения, для ковки – слитки многогранного или круглого сечений. Наиболее часто масса слитков составляет от 1-1,5 до 10-12 т.

Существует два способа разливки стали в изложницы – *разливка сверху* и *разливка сифоном* (рис. 6).

Для изготовления слитков большой массы сталь обычно заливают *сверху*. При разливке сверху каждую изложницу заполняют отдельно. При такой разливке поверхность слитков вследствие попадания брызг жидкого металла на стенки изложницы может быть загрязнена *корольками* (каплями затвердевшего металла) и пленками оксидов. Преимущества разливки сверху – более простое разливочное оборудование, меньшая стоимость, отсутствие потерь металла на литники. Недостатки – большая длительность, менее качественная поверхность (наличие плен оксидов от брызг металла, затвердевающих на стенках изложницы). Для уменьшения разбрызгивания струи применяют промежуточные ковши или воронки.



а *б*

Рис. 6. Разливка стали в изложницы: *а* – сверху; *б* – сифоном: 1 – ковш; 2- металл; 3 – центровой литник; 4 – изложницы; 5 – поддон; 6 – надставка для утепления прибыли

При разливке *сифоном* сталь из ковша поступает в центровой литник, протекает по каналам и снизу поступает в изложницы, установленные на чугунном поддоне. В этом случае сталь поступает в изложницы снизу, что обеспечивает плавное, без разбрызгивания их заполнение. Поверхность слитка получается чистой, сокращается время разливки. Но при этом способе разливки получается удлиненная усадочная раковина вследствие того, что последние порции горячего металла поступают снизу.

При разливке сифоном производительность значительно выше, поверхность слитка более чистая. Недостатки сифонной разливки – сложность сборки поддонов и центровых литников, потери металла на литники, возможность загрязнения стали неметаллическими включениями при протекании по центровому литнику и литниковым каналам.

Непрерывная разливка стали производится на установках непрерывной разливки стали (рис. 7).

При непрерывной разливке жидкую сталь из ковша через промежуточное устройство непрерывно заливают сверху в водоохлаждаемую сквозную изложницу-кристаллизатор. Стенки кристаллизатора, изготовляемого обычно из меди, интенсивно охлаждаются водой, циркулирующей по имеющимся в них каналам.

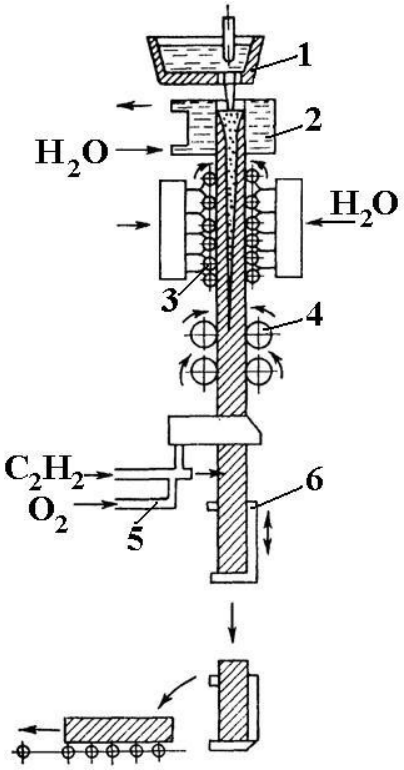


Рис. 7. Схема установки непрерывной разливки стали: 1 – ковш; 2 – водоохлаждаемый кристаллизатор; 3 – зона охлаждения; 4 – тянущие валки; 5 – резак; 6 – кантователь для укладки слитков на тележку

В начале процесса в кристаллизатор вводится временное дно – так называемая *затравка*. Металл затвердевает у стенок кристаллизатора и затравки, и затвердевающий слиток с помощью валков со скоростью 1-2,5 м/мин начинает извлекаться из кристаллизатора.

Выходящая из кристаллизатора заготовка с жидкой сердцевиной попадает в зону вторичного охлаждения, где на ее поверхность подается из форсунок распыленная вода. После прохождения тяговых роликов затравку отделяют. В нижней части установки непрерывный слиток разрезается на заготовки мерной длины.

Благодаря непрерывному питанию и направленному затвердеванию в слитках, полученных на машинах непрерывной разливки стали, отсутствуют усадочные раковины. Поэтому выход годных заготовок может достигать 96-98 % массы разливаемой стали, поверхность получаемых слитков отличается хорошим качеством, а металл слитка – плотным и однородным строением. Большая степень химической однородности заготовок обеспечивает стабильные механические свойства и повышает надежность работы металлоизделий. Установки непрерывной разливки стали избавляют предприятие от необходимости содержать блюминги и слябинги и дают возможность существенно экономить на потерях металла.

На установках непрерывной разливки отливают заготовки квадратного сечения (размерами от 50х50 до 300х300 мм), плоские слябы (толщиной от 50 до 300 мм и шириной от 300 до 2000 мм), круглые заготовки (диаметром от 100 до 550 мм), из которых получают трубы, сортовой и листовой прокат, поковки.

В среднем в мире свыше 75 % всей производимой стали разливается на установках непрерывной разливки, причем в таких странах, как Япония, Франция, Италия, Испания, США, Великобритания, Южная Корея, непрерывным способом производится свыше 90 % стали. В то же время в Китае этот показатель менее 50 %, в России – чуть более 40 %, на Украине – 13,5 %, в Польше – около 13 %.

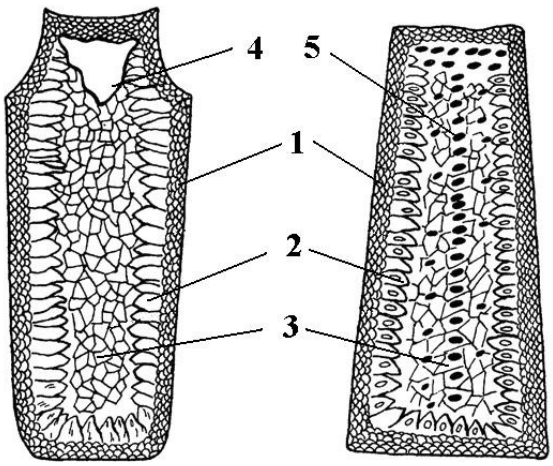
Существенным недостатком вертикальных установок является их большая высота – до 45 метров. Поэтому в последние годы все более широко применяют установки радиального типа. Общая высота таких установок, как правило, не превышает 12 метров.

Наибольшая производительность установок непрерывной разливки обеспечивается при их работе в сочетании с кислородными конвертерами.

Перспективны агрегаты, в которых непрерывная разливка стали совмещается с непрерывной прокаткой в едином потоке. При этом снижаются затраты энергии, повышаются качество слитка и выход годного, сокращается цикл производственных операций от выплавки стали до получения готового проката.

Строение стального слитка

В зависимости от степени раскисления (кипящая, спокойная) структура стального слитка может иметь различное строение (рис. 8).



а *б*

Рис. 8. Схема строения стальных слитков спокойной (*а*) и кипящей (*б*) стали: 1 – зона мелкозернистых кристаллов; 2 – зона столбчатых кристаллов; 3 – зона крупнозернистых кристаллов; 4 – усадочная раковина; 5 – газовые пузыри

В общем случае в структуре стального слитка можно выделить три зоны.

Первая *зона* слитка состоит из *мелких равноосных зерен*. Металл в начальный момент затвердевания, соприкасаясь с холодными стенками формы, охлаждается в тонком слое с большой скоростью. После образования внешней мелкозернистой зоны условия затвердевания металла меняются: скорость охлаждения уменьшается, отвод тепла становится направленным (перпендикулярно к стенкам формы), зерна приобретают столбчатый вид. Вторая зона – *зона столбчатых кристаллов*.

Внутренняя часть слитка – *зона крупных равноосных зерен*. Третья зона формируется в условиях равномерного охлаждения жидкого металла. Здесь зерна зарождаются и растут без определенного направления.

В процессе затвердевания объем жидкого металла уменьшается, поэтому в слитке образуется *усадочная раковина*. Усадочная раковина располагается в верхней части слитка, где затвердевают последние порции металла, а под ней на некоторую глубину протягивается усадочная рыхлота.

Структура, показанная на рис. 8, *а*, образуется при кристаллизации спокойной стали, которую получают при полном раскислении металла в печи и ковше. Такая сталь затвердевает без выделения газов, поэтому слиток имеет плотное строение, а усадочная раковина концентрируется в верхней части. В целях уменьшения усадочной раковины в слитках изложницы изготовляют с утепленной надставкой.

Выделение газов в слитке кипящей стали (рис. 8, *б*) происходит при затвердевании слитка, поэтому в слитке образуется не концентрированная усадочная раковина, а большое количество рассредоточенных газовых пузырей. Кипящая сталь практически не содержит неметаллических включений и обладает высокой пластичностью. Листовой прокат, получаемый из низкоуглеродистой кипящей стали, широко применяется при изготовлении деталей холодной обработкой давлением.

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

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

Зональная ликвация – неоднородность состава стали в различных частях слитка. В верхней части слитка из-за конвекции жидкого металла содержание серы, фосфора и углерода увеличивается в несколько раз, в нижней части – уменьшается. Зональная ликвация приводит к браку металла вследствие отклонения его свойств от заданных. Верхнюю прибыльную часть слитка при прокатке отрезают.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие основные технологические процессы включает в себя сталеплавильное производство?
2. Что является сущностью любого металлургического передела чугун в сталь?
3. Перечислите основные материалы, применяемые при получении стали.
4. Охарактеризуйте основные этапы выплавки стали.
5. Какие элементы используют в качестве раскислителей?
6. Перечислите и охарактеризуйте основные способы раскисления стали.
7. Чему равняется допустимое содержание вредных примесей в судостроительных сталях?
8. Какие выплавляют стали по степени раскисления и чем они отличаются друг от друга?
9. Какие элементы вводят в судостроительные стали для получения необходимых свойств?
10. В чем заключается сущность производства сталей в кислородно-конвертерных, мартеновских и электроплавильных печах?
11. Перечислите отличительные особенности различных способов производства сталей?
12. Как получают стали особовысококачественные?
13. Что представляет собой внепечное рафинирование?
14. С какой целью применяются способы рафинирующего переплава?
15. Что представляет собой электрошлаковый переплав?
16. Какие способы разливки стали применяют в настоящее время?
17. Назовите основные достоинства и недостатки разливки сверху и разливки сифоном.
18. В чем заключаются преимущества непрерывной разливки стали?
19. Что представляет собой структура стального слитка?
20. Объясните особенности формирования структурных зон стального слитка.
21. Что такое ликвация? В чем отличие дендритной ликвации от зональной ликвации?

22. С какой целью изложницы изготовляют с утепленной надставкой?

1.3 Цветная металлургия

Цветная металлургия – это отрасль промышленности, включающая добычу и обогащение руд, производство и обработку цветных металлов и их сплавов (табл. 5).

Таблица 5

Производство продукции цветной металлургии (в % к предыдущему году)

Производство	1970 г.	1980 г.	1990 г.	1995 г.	2001 г.
Алюминий первичный, включая силумин	101	103	100	104	102
Медь рафинированная	101	93	82	111	106
Никель	105	96	76	103	103
Свинец, включая вторичный	106	87	118	107	107
Цинк	100	88	83	121	102
Прокат цветных металлов	100	94	58	100	108

Примечание. См. Российский статистический ежегодник. – М: Госкомстат РФ, 1999, 2001.

Сырьевая база цветной металлургии обладает рядом особенностей:

- *низким содержанием полезных компонентов в сырье* (медные руды содержат от 1 до 5 %, свинцово-цинковые – от 1,5 до 5,5 %, никелевые – от 0,3 до 5,5 %, оловянные – от 0,01 до 0,7 %, молибденовые – от 0,005 до 0,04 %).

Практически для получения, например, 1 т меди требуется переработать не менее 100 т руды, никеля – до 200 т, олова – до 300 т. Расход сырья на 1 т готовой продукции в сотни раз превосходит объем готового изделия, а при производстве редких металлов – в десятки и даже сотни тысяч раз;

- *многокомпонентностью сырья* (например, уральские медные колчеданы содержат Cu, Fe, S, Au, Cd, Ag, Se,Te, In, Ga и другие элементы, в общей сложности до 30, например, карабашские руды в Челябинской области);
- *топливоемкостью и электроемкостью сырья в процессе его переработки* (для производства никеля необходимо до 55 т топлива на 1 т готовой продукции; для цинка – до 3 т; черновой меди – до 3,5 т; глинозема – до 12 т и т.д.).

Для производства 1 т алюминия требуется до 17 тыс. кВт·ч электроэнергии, 1 т титана – до 20-60 тыс. кВт·ч, магния – до 20 тыс. кВт·ч и т.д.

Урал является старейшим из регионов России по производству цветных металлов, особенно меди, алюминия, цинка, никеля, кобальта, свинца, золота и многих редких металлов. На уральских предприятиях производится почти 43 % рафинированной меди, около 65 % цинка в концентрате от общего производства их в России, а также значительное количество золота, серебра, редких и рассеянных металлов.

Развита цветная металлургия в Северном и Северо-Западном районах, где ведется добыча и обогащение нефелинов, бокситов, титановых, медно-никелевых руд.

Алюминиевые заводы размещаются в Кандалакше, Надвоицах, Бокситогорске, медеплавильный – в Мончегорске, никелевый – в г. Никель.

Цветная металлургия является одной из важнейших отраслей промышленности Дальнего Востока, на его долю приходится основная часть общероссийской добычи оловянных руд, золота, свинцово-цинковых руд, вольфрама и ртути.

Крупным центром металлургии является Норильский горнометаллургический комбинат, где не только наращиваются объемы производства, но и все полнее и комплекснее используется сырье. Здесь производятся никель, кобальт, платина, медь и другая.

По стадиям технологического процесса цветная металлургия делится на *добычу* и *обогащение сырья*, *металлургический передел* и *обработку цветных металлов*.

Около половины руд цветных металлов добывается открытым способом, что обеспечивает комплексное извлечение металлов. Низкое содержание металла в рудах цветных металлов требует обязательного их обогащения (обычно *флотационным способом*).

Обогащенная руда плавится в специальных печах и превращается в так называемый *черновой металл*, который подвергается затем очистке от вредных примесей (*рафинирование*). Полученный рафинированный металл используется в виде проката разного профиля в разных отраслях промышленности.

Производство алюминия

Алюминий – наиболее распространенный металл в природе (примерно 8,5 % по массе содержание алюминия в земной коре), он входит в состав более чем 250 минералов, основная его руда – *бокситы*, а также *нефелины* и *алуниты*. Бокситы содержат от 30 до 70 % гидратов глинозема.

В России основными видами сырья для получения алюминия считаются бокситы и нефелины. Первые являются простым сырьем, а вторые – комплексным. Важнейшие месторождения бокситов находятся в Северном (Плесецк), Северо-Западном (Бокситогорск) районах и на Урале (Североуральск); нефелины добывают в Северном районе (Кировск) и Сибири (Горячегорск).

Первым, кому удалось получить металлический алюминий, был датский ученый Эрстед. В 1825 г. в одном из химических журналов он опубликовал свою статью, в которой писал, что в результате проведенных им опытов образовался «кусок металла, с цветом и блеском, несколько похожим на олово».

В 1886 г. независимо друг от друга американский студент Холл и французский инженер Эру разработали электролитический способ производства алюминия. В конце 80-х гг. XIX в. работавший в России австрийский химик К. И. Байер создал и успешно применил в заводских условиях оригинальную технологию получения глинозема – основного промышленного сырья для производства алюминия.

Технологический процесс получения алюминия состоит из двух важнейших стадий: *производство глинозема из бокситов* и последующего *получения алюминия* (первичного или вторичного) *из глинозема*.

Наиболее распространенный *способ получения глинозема – щелочной*.

Боксит дробят и размалывают в шаровых мельницах, куда добавляют щелочь NaOH, в результате чего образуется суспензия тонкоизмельченного боксита с водой. Выщелачивание (варку) полученной пульпы производят в автоклавах при температуре 150-250°С, давлении до

3,5 МПа и концентрации щелочи 250-300 г/л. При выщелачивании образуется алюминат натрия: $Al_2O_3+2NaOH+3H_2O=Na_2O\cdot A1_2O_3+4H_2O$.

Для очистки алюмината натрия пульпу разбавляют, промывают водой и направляют в чаны-сгустители для фильтрования. Затем производят разложение алюмината натрия: $Na_2O\cdot Al_2O_3+4H_2O=2NaOH+2Al(OH)_3\downarrow$ и обезвоживание $Al(OH)_3$ путем прокаливания при 1200°С во вращающихся печах или в установках с кипящим слоем гидрата окиси алюминия: $2Al(OH)_3=Al_2O_3+3H_2O$. На 1 т глинозема расходуется 2-2,5 т боксита.

Для *получения металлического алюминия* проводят *электролиз глинозема* в ваннах из стального кожуха, облицованного внутри углеродными блоками. В кладку пода ванны вмонтированы катодные шины. Анодом является вертикально установленный угольный электрод, нижняя часть которого погружена в электролит – расплав из глинозема Al_2O_3 (8-10 %) и криолита Na_3AlF_6. При электролизе электролит нагревается до рабочей температуры 950-950°С. В результате электролиза происходит распад молекул криолита и глинозема: $Na_3AlF_6\rightarrow 3Na^{+}+AlF$; $A1_2O_3\rightarrow Al^{3+}+AlO$. На катоде разряжаются катионы алюминия: $Al^{3+}+3e\rightarrow Al$, и, таким образом для получения металлического алюминия расходуется только глинозем. Его периодически догружают в ванну. Отрицательно заряженные анионы AlO направляются к аноду, и в результате процесса $2A1O+6e\rightarrow A1_2O_3+1,5O_2$ образуется глинозем, а кислород тратится при постепенном сгорании угольных анодов. Расплавленный алюминий скапливается на дне ванны, и его периодически удаляют.

Для получения 1 т алюминия расходуется 2 т глинозема, 0,6 т угольных анодов, около 0,1 т криолита и 16500- 18500 кВт/ч электроэнергии.

Полученный алюминий содержит примеси (железо, кремний), ухудшающие его свойства, и поэтому подвергается *рафинированию хлором* или *электролитическому рафинированию*.

Рафинирование хлором заключается в продувке расплавленного алюминия при 700-750°С хлором в течение 10-15 мин с последующим отстаиванием в ковше в течение 30-45 мин. После хлорирования получают алюминий чистоты 99,86 %.

При электролитическом рафинировании получают алюминий особой чистоты (до 99,999 %).

Алюминий в зависимости от содержания примесей подразделяют на алюминий особой чистоты (содержание примесей – не более 0,001 %), высокой чистоты (0,005-0,05 %) и технической чистоты (0,15-1 %). Технический Al выпускают в чушках массой от 5 до 1000 кг. Его марки отличаются степенью чистоты.

Выплавку алюминиевых сплавов производят в электрических и плазменных печах. Электрические печи сопротивления типа САН имеют ряд преимуществ перед пламенными: снижение угара, окисления и газонасыщенности металла; высокий КПД; легкость управления процессом. Современными плавильными агрегатами являются электрические индукционные печи емкостью до 5 т.

В качестве шихтовых материалов используют первичный алюминий заданной чистоты, добавляемый к основному металлу, и отходы производства. Металлическую шихту расплавляют, доводят температуру до 680-700°С, и рафинируют металл хлористыми солями.

Алюминиевые сплавы при плавке склонны к поглощению газов (особенно водорода) и легко окисляются. Для защиты от окисления и поглощения газов плавку проводят под слоем флюса, в состав которого входят NaCl, KC1, CaF_2 и другие компоненты, и производят рафинирование.

При производстве полуфабрикатов из деформируемых алюминиевых сплавов выполняются следующие операции: отливка слитков и горячее деформирование (прокатка, прессование, ковка, штамповка). Слитки получают методом непрерывного литья, а также отливкой в изложницах. Для обеспечения однородности состава и свойств металла их гомогенизируют при температурах 450-470°С в течение 24-28 ч для устранения ликвации.

В настоящее время Российская Федерация по-прежнему находится в группе мировых лидеров как по производству первичного алюминия (2-е место после США), так и по выплавке алюминия из вторичного сырья (наряду с США, Японией, Германией, Италией, Францией и Великобританией) и входит в первую шестерку стран-экспортеров первичного алюминия в мире.

Производство меди

Содержание меди в земной коре составляет всего 0,01 % по массе, но она концентрируется в медных рудах, где содержание ее достигает 5 %. В природе медь изредка встречается в самородном состоянии. Самородная медь обычно не содержит примесей или содержит незначительные примеси серебра, висмута, бериллия; иногда до 2-3 % золота.

В виде соединений с серой или кислородом медь входит в состав более 200 минералов. Наибольшее значение имеют сульфидные руды, из обогащенных сульфидных руд выплавляется примерно 80 % всей добываемой меди. Важнейшими минералами, входящими в состав медных руд, являются *халькопирит*, *борнит*, *халькозин*.

Основные месторождения медных руд в России (медные колчеданы) находятся на Урале: Красноуральское, Ревдинское, Сибайское, а также лучшее в стране Гайское месторождение (где руды содержат в среднем 4 % меди). В будущем намечается разработка уникального Удоканского месторождения медных руд в Сибири.

Для производства меди применяют медные руды, отходы меди и ее сплавов. Перед плавкой медные руды *обогащают* и получают концентрат.

Выплавка меди из ее сульфидных руд или концентратов представляет собой сложный процесс, состоящий из следующих операций: *обжиг*, *плавка*, *конвертирование*, *огневое* и *электролитическое рафинирование*.

Концентрат меди подвергают окислительному обжигу при температуре 750-800°С для уменьшения содержания серы. В ходе обжига большая часть сульфидов превращается в оксиды. Получившиеся оксиды железа, цинка и других примесей отделяются в виде шлака при плавке.

Основной продукт плавки – *жидкий штейн* (Cu_2S с примесью FeS) поступает в конвертор, где через него продувают воздух. В ходе конвертирования выделяется диоксид серы и получается *черновая*, или *сырая, медь*, содержащая 98,4-99,4 % Cu. Для удаления вредных примесей черновая медь подвергается огневому, а затем электролитическому рафинированию.

Для медной промышленности характерна широкая утилизация отходов производства. В наибольшей степени это относится к улавливанию сернистых газов и производству из них серной кислоты.

Техническую медь подразделяют на марки, содержащие различное количество примесей, например, М00б (99,99 % Cu), М0б (99,97 % Cu), М0 (99,93 % Cu), М0к (99,97 % Cu), М1(99,9 % Cu), М2 (99,7 % Cu), М3 (99,5 % Cu), М3р (99,5 % Cu) и др. Буквы «б», «к» и «р» обозначают бескислородную медь.

Производство титана

По распространению в природе титан занимает 4-е место среди металлов (0,8 % по массе в земной коре) и входит в состав более чем 70 минералов.

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

Принципиальная технология получения титана из руд разработана немецким химиком Вильгельмом Кролем в 30-х гг. XX в.

В настоящее время промышленный способ получения титана – *магнетермический*.

Способ состоит в обогащении и хлорировании титановой руды в присутствии кокса: $TiO_2+2Cl_2+2C \rightarrow TiCl_4+2CO\uparrow$ с последующим восстановлением титана из четыреххлористого титана расплавленным металлическим магнием: $TiCl_4+2Mg \rightarrow Ti$(губка)$+2MgCl_2$. В дальнейшем $MgCl_2$ подвергают электролизу: $MgCl_2 \rightarrow Mg+Cl_2$. Магнетермический способ является примером *безотходной технологии*.

Титановая губка представляет собой сросток дендритов, пластичную и вязкую пористую массу (γ=1,7-2,5г/см^3), загрязненную примесями. Обозначают титановую губку ТГ-100, ТГ-105,…, ТГ-155 (ТГ – титановая губка, цифры – твердость НВ). Полученную титановую губку размалывают в порошок, прессуют и спекают или переплавляют в дуговых печах в вакууме или в атмосфере инертных газов.

Для уменьшения количества примесей и более равномерного их распределения по сечению слитка проводят 2-3-х кратную переплавку. Характерную для титановых слитков крупнозернистую структуру измельчают путем модифицирования.

Полученный в результате переплава технический титан маркируют в зависимости от содержания примесей ВТ1-ОО (суммарное содержание примесей $\Sigma_{прим} \leq 0{,}398$ %), ВТ1-О ($\Sigma_{прим} \leq 0{,}55\%$).

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

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите особенности сырьевой базы цветной металлургии.
2. Назовите основные стадии технологического процесса цветной металлургии.
3. Какая основная руда используется для получения алюминия?
4. В чем состоит суть технологического процесса получения алюминия?

5. Как маркируют технический алюминий?
6. Какая руда используется для получения меди?
7. В чем состоит суть технологического процесса получения меди?
8. Как маркируют техническую медь?
9. Какая руда используется для получения титана?
10. В чем состоит суть технологического процесса получения титана?
11. Как маркируют технический титан?
12. Назовите основные виды сырья, применяемого в России, для получения алюминия, меди и титана.
13. Где находятся важнейшие месторождения бокситов, медных и титановых руд?

Глава 2 ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Процессы литья – это получение металлических изделий (*отливок*) путем заливки расплавленного материала в литейную форму. *Литейная форма* представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой жидким металлом формируется отливка. После кристаллизации металла литую деталь (заготовку) удаляют из литейной формы и отправляют на последующую обработку.

Продукцией литейного производства для судостроения являются крупные стальные отливки: форштевни, ахтерштевни, якоря, якорные клюзы, кнехты, гребные винты, кронштейны и мортиры гребных валов, крупногабаритная арматура судовых систем и т. п.

В настоящее время для изготовления отливок применяют различные материалы: чугун, сталь, медные, алюминиевые, магниевые, цинковые, свинцовые, оловянные и никелевые сплавы. Выбор литейного сплава определяется механическими, физическими, химическими и литейными свойствами, а также стоимостью материала.

2.1 Литейные свойства сплавов

Наиболее важными показателями литейных свойств являются *жидкотекучесть*, *ликвация*, *усадка* (линейная и объемная), *склонность к образованию трещин*, *склонность к поглощению газов* и образованию газовых раковин и пористости в отливках и др.

Жидкотекучесть – это способность сплавов течь в расплавленном состоянии по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки.

Жидкотекучесть литейных сплавов зависит от различных факторов: химического состава, температурного интервала кристаллизации, вязкости и поверхностного натяжения расплава, температуры заливки и формы, а также свойств литейной формы и т.д. Чистые металлы и сплавы, затвердевающие при постоянной температуре (эвтектические сплавы), обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, образующие твердые растворы и затвердевающие в интервале температур. Чем выше вязкость и поверхностное натяжение расплава, тем меньше жидкотекучесть. Фосфор, кремний и углерод улучшают ее, а сера ухудшает. С повышением температуры заливки расплавленного металла и температуры формы жидкотекучесть улучшается. Увеличение теплопроводности материала литейной формы снижает жидкотекучесть. При хорошей жидкотекучести металл заполняет всю полость формы, а при недостаточной – образует недоливы в тонких сечениях отливки.

Жидкотекучесть литейных сплавов определяют с помощью различных методов и технологических проб. Технологические пробы на жидкотекучесть – это литейные формы с полостью в виде каналов, заполнение которых жидким металлом характеризует его жидкотекучесть. Из разнообразных конструкций технологических проб наибольшее распространение получила проба спиральной формы (рис. 9) – *спираль Керри*.

Жидкотекучесть определяют по пути, пройденному жидким металлом до затвердевания, т. е. по длине прутка. Небольшие выступы, нанесенные через 50 мм, облегчают измерение

длины спирали (прутка). Спиральный канал позволяет получить длинные прутки в сравнительно небольших формах.

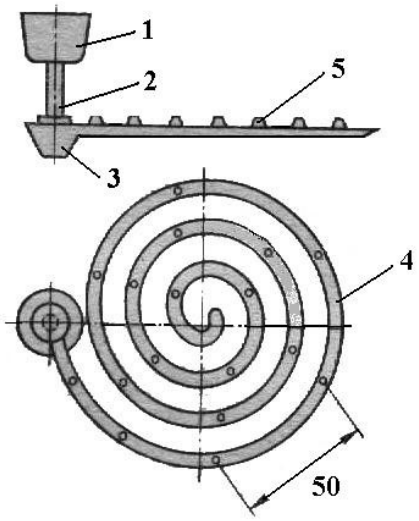


Рис. 9. Технологическая спиральная проба (спираль Керри): 1 – чаша, 2 – стояк, 3 – металлоприемник, 4 – спиральный канал, 5 – выступы

Ликвация – неоднородность химического состава, возникающая при кристаллизации сплавов. Ликвация обусловлена тем, что сплавы кристаллизуются в интервале температур. При этом состав кристаллов, образующихся в начале затвердевания, может существенно отличаться от состава последних капель кристаллизующегося раствора. Чем шире температурный интервал кристаллизации, тем сильнее развивается ликвация, причем наибольшую склонность к ней проявляют те компоненты сплава, которые наиболее сильно влияют на ширину интервала кристаллизации (для стали – S, O_2, P, C). Различают *дендритную* и *зональную ликвацию*.

Дендритная ликвация проявляется в микрообъемах сплава, близких к размеру зерна, и причиной ее является избирательный процесс кристаллизации. Первичные оси дендрита содержат повышенную концентрацию тугоплавких компонентов, а в межосевых пространствах кристаллизуются легкоплавкие компоненты, что приводит к неодинаковости механических свойств. Дендритная ликвация устраняется путем высокотемпературного отжига.

Зональная ликвация наблюдается во всем объеме отливки вследствие различия температуры кристаллизации отдельных компонентов или их плотности. Например в свинцовой бронзе БрС30 свинец, имеющий более высокую плотность (11,34 г/см^3) по сравнению с медью (8,93 г/см^3), при медленном охлаждении осаждается в нижней части отливки. Зональную ликвацию в сталях вызывает температурный фактор. В осевых сечения отливки наблюдается повышенная концентрации C, S и P. Зональную ликвацию можно только предупредить. Для уменьшения зональной ликвации необходимо:

обеспечить выравнивание скоростей охлаждения отдельных частей отливки за счет осуществления рассредоточенного подвода металла;

создавать условия направленной кристаллизации и увеличивать скорость охлаждения отливки, применяя, при необходимости, холодильники.

Усадка – свойство литейных сплавов уменьшать объем при затвердевании и охлаждении. Различают линейную и объемную усадку.

Линейная усадка – уменьшение линейных размеров отливки при ее охлаждении от температуры, при которой образуется прочная корка, способная противостоять давлению расплавленного металла, до температуры окружающей среды. Линейную усадку определяют соотношением, %: $\varepsilon_{ЛИН} = \frac{(l_Ф - l_{от}) \cdot 100\%}{l_{от}}$, где $l_ф$ и $l_{от}$ – размеры полости формы и отливки при температуре 20°С.

На линейную усадку влияют химический состав сплава, температура его заливки, скорость охлаждения сплава в форме, конструкция отливки и литейной формы. Так, усадка серого чугуна уменьшается с увеличением содержания углерода и кремния, аналогичное влияние оказывает кремний на усадку алюминиевых сплавов. Снижение температуры заливки уменьшает усадку отливок. Увеличение скорости отвода теплоты от залитого в форму сплава приводит к возрастанию усадки отливки.

Линейная усадка составляет (%):

для серого чугуна 0,9-1,5;

для углеродистых сталей 2-2,4;

для алюминиевых сплавов 0,9-1,5;

для медных 1,4-2,3.

Объемная усадка – уменьшение объема сплава при его охлаждении в литейной форме при формировании отливки. Объемную усадку определяют соотношением, %: $\varepsilon_{ОБ} = \frac{(V_Ф - V_{ОТ}) \cdot 100}{V_{ОТ}}, \%$, где $V_ф$ и $V_{от}$ – объем полости формы и объем отливки при 20°С. Объемная усадка приблизительно равна утроенной линейной усадке.

Усадка в отливках проявляется в виде усадочных раковин, пористости, трещин и короблений. *Усадочные раковины* – сравнительно крупные полости, расположенные в местах отливки, затвердевающих в последнюю очередь. Сосредоточенные крупные усадочные раковины образуются при изготовлении отливок из чистых металлов, сплавов эвтектического состава (силумины) и сплавов с узким интервалом кристаллизации (низкоуглеродистые стали, безоловянистые бронзы).

Усадочная пористость – скопление пустот, образовавшихся в отливке в обширной зоне в результате усадки в тех местах отливки, которые затвердевали последними без доступа к ним расплавленного металла. Усадочная пористость располагается по границам зерен металла. Получить отливки без усадочных раковин и пористости возможно за счет непрерывного подвода расплавленного металла в процессе кристаллизации вплоть до полного затвердевания. С этой целью на отливки устанавливают *прибыли* – резервуары с расплавленным металлом, которые обеспечивают доступ расплавленного металла к участкам отливки, затвердевающим последними.

Склонность к образованию трещин. В результате неравномерного затвердевания в отливках тонких и толстых частей и торможения усадки формой при охлаждении возникают внутренние напряжения. Эти напряжения тем выше, чем меньше податливость формы и

стержней. Если величина внутренних напряжений превысит предел прочности сплава в данном участке отливки, то в теле ее образуются *горячие* или *холодные трещины*.

Горячие трещины – обычно хорошо видимые разрывы поверхности отливки, распространяющиеся по границам кристаллов и имеющие неровную окисленную поверхность, на которой при увеличении видны дендриты. Образуются вследствие усадки при застывании расплава в формах. Характерными признаками горячих трещин являются их неровные (рваные) края и значительная ширина.

Холодные трещины – очень тонкие разрывы поверхности отливки, имеющие обычно чистую, светлую с цветами побежалости зернистую поверхность. Образуются из-за внутренних напряжений или механического воздействия при температуре ниже температуры свечения отливки. В отличие от горячих трещин холодные распространяются по зернам, а не по их границам, располагаются они преимущественно в острых углах и других местах концентрации напряжений.

Холодные трещины чаще всего образуются в тонкостенных отливках сложной конфигурации и тем больше, чем выше упругие свойства сплава, чем значительнее его усадка при пониженных температурах и чем ниже его теплопроводность. Опасность образования холодных трещин в отливках усиливается наличием в сплаве вредных примесей (например фосфора в сталях). Для предупреждения образования в отливках трещин необходимо обеспечивать равномерное охлаждение отливок во всех сечениях путем использования холодильников; применять сплавы для отливок с высокой пластичностью; проводить отжиг отливок и т.п.

Под влиянием внутренних напряжений, возникающих при охлаждении, происходит изменение формы и размеров отливки (*коробление отливок).* Коробление увеличивается при усложнении конфигурации отливки и повышением скорости охлаждения, которая вызывает неравномерное охлаждение отдельных частей отливки и различную усадку. Коробление отливки может быть также вызвано сопротивлением формы усадке отдельных частей отливки. Для предупреждения коробления в отливках необходимо увеличивать податливость формы; создавать рациональную конструкцию отливки и т.д.

Склонность к газопоглощению. В расплавленном состоянии металлы и сплавы способны активно поглощать значительное количество газов из окружающей среды, при заливке металла в форму и т.д. При избыточном содержании газы выделяются из расплава в виде газовых пузырей, которые могут всплывать на поверхность или оставаться в отливке, образуя *газовые раковины*, *пористость* или *неметаллические включения*, снижающие механические свойства и герметичность отливок. Для уменьшения газовых раковин и пористости в отливках плавку ведут под слоем флюса, в среде защитных газов с использованием хорошо просушенных шихтовых материалов. Перед заливкой расплавленный металл необходимо подвергать дегазации вакуумированием, продувкой инертными газами, увеличивать газопроницаемость литейных форм и стержней, снижать влажность формовочной смеси, подсушивать формы и т.д.

2.2 Литейные сплавы

Чугун. Наибольшее количество отливок на судостроительных и судоремонтных заводах изготавливают из чугуна. Широкое распространение чугун получил благодаря хорошим технологическим свойствам и низкой себестоимости по сравнению с другими сплавами.

Чугуны классифицируют по форме включения графита – *серый* чугун с пластинчатым графитом (СЧ), *чугун* с *вермикулярным графитом* (ЧВГ), *высокопрочный* чугун с шаровидным графитом (ВЧ) и *ковкий* чугун с хлопьевидным графитом (КЧ), а также по химическому составу – *нелегированные* и *легированные* чугуны.

Серый чугун обладает высокими литейными свойствами. Из него можно получать отливки сложной конфигурации с минимальными размерами припусков (табл. 6).

Серые чугуны содержат 2,4-3,6 % C; 0,5-3 % Si; 0,2-1 % Mn; 0,04-0,3 % P; 0,02-0,2 % S. Согласно ГОСТ 1412-85 механические свойства чугунов (табл. 7) определяются по результатам испытаний на растяжение образцов, вырезанных из отдельно залитых цилиндрических брусков диаметром 30 мм. Вследствие чувствительности чугуна к изменению скорости охлаждения прочность в различных узлах отливки может отличаться от прочности, характеризующей данную марку.

В сером чугуне присутствие графита пластинчатой формы действует как внутренние надрезы, поэтому серый чугун характеризуется сравнительно низкой прочностью и особенно низкой пластичностью. Вместе с тем, наличие графита придает чугуну ряд ценных качеств (например, низкая чувствительность к внешним надрезам, высокая циклическая вязкость и др.).

Серый чугун обладает лучшими литейными свойствами, чем сталь. Детали из серого чугуна легко обрабатываются режущим инструментом, хорошо сопротивляются износу, впитывают и удерживают смазочные масла на трущихся поверхностях.

Таблица 6

Характеристика и примеры применения отливок из серого чугуна

Марка	Характеристика	Примеры применения
СЧ 10	Неответственное литье, главное требование – легкость обработки	Плиты, грузы, корыта, крышки, кожухи и т.п.
СЧ 15	Малоответственное литье с толщиной стенки $\delta_{ст}$=8÷15 мм; невысокие требования к износостойкости	Детали сложной конструкции при недопустимости большого коробления; маховики, шкивы; поршневые кольца, арматура, сосуды, работающие под давлением; тонкостенные отливки
СЧ 20	Ответственное литье с $\delta_{ст}$=10-30 мм; детали, требующие значительной прочности и работающие до 300°С	Корпуса, блоки цилиндров, зубчатые колеса, станины с направляющими большинства металлорежущих станков, диски сцепления, тормозные барабаны
СЧ 25	Ответственное сложное литье с $\delta_{ст}$=20-60 мм; детали, работающие до 300°С	Корпуса насосов и гидроприводов, поршни и гильзы дизелей и бесклапанных двигателей, цилиндры и головки дизелей, рамы, штампы для холодной вытяжки и другие детали, работающие под высоким давлением
СЧ 30	Ответственное высоконагруженное литье с $\delta_{ст}$=20-100 мм; детали, работающие до 300°С	Цилиндры и крышки паровых машин, малые коленчатые валы, клапаны и кулачки распределительных механизмов, зубчатые колеса, цепные звездочки, тормозные барабаны, муфты, диски сцепления, клапаны, поршневые кольца и другие нагруженные детали
СЧ 35	Ответственное тяжелонагруженное литье с $\delta_{ст}$≥20 мм.	Крупные толстостенные втулки, коленчатые валы, цепные звездочки, зубчатые и червячные колеса, тормозные барабаны, муфты, диски сцепления, клапаны и другие детали.

Таблица 7

Механические свойства отливок серого чугуна с пластинчатым графитом

Марка чугуна	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{изг}$, МПа	Твердость, НВ	
	Не менее		МПа	кгс/мм^2
СЧ 10	98	274	1402-2246	143-229
СЧ 15	147	314	1599-2246	163-229
СЧ 18	176	358	1668-2246	170-229
СЧ 20	196	392	1668-2364	170-241
СЧ 21	206	392	1668-2364	170-241
СЧ 24	235	421	1668-2364	170-241

СЧ 25	245	451	1766-2452	180-250
СЧ 30	294	490	1755-2501	181-255
СЧ 35	343	539	1932-2638	197-269
СЧ 40	392	588	2030-2795	207-285
СЧ 45	441	637	2246-2835	229-289

При производстве чугунов марок СЧ 25, СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40 используют модифицирование, легирование и термообработку. При модифицировании в качестве графитизирующего модификатора используют ферросилиций; комплексные сплавы на основе Si, содержащие Ca, Mg, Sr, Mn, Zr, РЗМ и модифицирующие смеси, которые в виде кусков 1-5 мм вводят в струю чугуна при сливе из печи в ковш.

Для легирования используют в основном Cr, Mn, Ni, Mo, Cu, V, Ti. Все эти элементы (за исключением Ti) препятствуют выделению феррита и повышают дисперсность перлита.

При термической обработке чугунов применяют отжиг для снятия литейных напряжений, нормализацию и закалку для повышения прочностных показателей.

Отжиг проводится при температурах 500-570°С, выдержка при температуре отжига составляет 3-10 ч. Охлаждение после отжига медленное, вместе с печью.

Нормализацию применяют для повышения механических свойств и износостойкости чугуна путем исправления структуры чугуна и получения перлитной металлической основы. Нормализацию проводят при температуре 850-950°С с последующим охлаждением отливок на воздухе. После охлаждения на воздухе (обычно до 500°С) отливка получает структуру – перлит. Для снижения напряжений ниже температуры 500°С отливки охлаждаются медленно вместе с печью (примерно 40 град/ч).

Закалка и *отпуск* применяются для повышения прочности, твердости и износостойкости с температуры 880-930°С в масле. Отпуск для деталей, работающих на износ, производится при температуре 250-300°С, для остальных при 400-600°С. Вследствие низкой пластичности чугунов в отливках при объемной закалке могут образоваться трещины. В связи с этим для чугунов нашла широкое применение поверхностная закалка (нагрев ТВЧ или горелками поверхности отливки с последующим водоструйным охлаждением). При поверхностной закалке обеспечивается получение закаленного слоя глубиной 1,5-4 мм.

Чугун с вермикулярным графитом отличается от серого чугуна более высокой прочностью, повышенной теплопроводностью, большей стабильностью свойств по толщине отливки. Этот материал перспективен для изготовления ответственных отливок, работающих в условиях смен теплового режима, например в моторостроении. Вермикулярный графит получают путем обработки расплава лигатурами, содержащими редкоземельные металлы (РЗМ).

Высокопрочный чугун. Отличительной особенностью чугуна с шаровидным графитом являются его высокие механические свойства (табл. 8).

Высокопрочный чугун обладает не только высокой прочностью, но и пластичностью. Поэтому его успешно применяют для изготовления ответственных тяжелонагруженных деталей машин: коленчатых валов, зубчатых колес, цилиндров. Высокопрочный чугун применяют в станкостроении (суппорты, резцедержатели, тяжелые планшайбы, шпиндели, рычаги), для

изготовления прокатного и кузнечно-прессового оборудования (прокатные валки, станины) и для других видов оборудования (коленчатые валы).

Таблица 8

Механические свойства высокопрочного чугуна (ГОСТ 7293-85)

Марка чугуна	$\sigma_в$, МПа	σ_m, МПа	δ,%	Твердость НВ, МПа
	Не менее			
ВЧ38	373	235	17	1373-1668
ВЧ42	412	274	12	1373-1962
ВЧ45	441	333	5	1570-2158
ВЧ50	490	343	7	1678-2364
ВЧ60	588	393	2	1962-2550
ВЧ70	686	441	2	2246-2943
ВЧ80	784	490	2	2453-3237
ВЧ100	981	686	2	2649-3532
ВЧ120	1177	882	2	2963-3728

Получение шаровидного графита в чугуне достигается обработкой расплава модификаторами, содержащими Mg, Ce, Y, Nd и др. Для уменьшения пироэффекта при введении в чугун металлического магния применяют лигатуры с Cu, Ni, Ca, Si и ограниченным содержанием Mg (не более 12-15 %).

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом обладает хорошей жидкотекучестью, малой величиной линейной усадки, незначительной склонностью к образованию горячих трещин, износостойкостью, высокими антифрикционными свойствами, высокой жаростойкостью при легировании его Si и Al; хорошо поддается механической обработке на станках, кислородной резке и допускает заварку литейных дефектов.

Применяя различные виды термической обработки чугуна с шаровидным графитом (отжиг, нормализацию, изотермическую закалку), можно получить чугун с различной структурой и различными свойствами.

Ковкий чугун является конструкционным материалом, используемым для изготовления мелких тонкостенных отливок для сельскохозяйственных машин, автомобилей, тракторов, арматуры, фитингов и других деталей массового производства (табл. 9).

Благодаря компактной форме графита чугун отличается высокими механическими свойствами (табл. 10), занимая в этом отношении промежуточное положение между серым чугуном и сталью.

Ковкий чугун получают путем отжига белого чугуна, отличающегося пониженным содержанием графитизирующих элементов, так как в литом состоянии необходимо получить полностью отбеленный чугун по всему сечению отливки. Ковкий чугун используют для изготовления мелких и средних тонкостенных отливок, работающих в условиях динамических знакопеременных нагрузок (детали коробок передач, шасси в автотранспорте, рычаги, коллекторы и др.).

Таблица 9

Области применения ковкого чугуна

Марка чугуна	Назначение
КЧ30-6	Фитинги, вентили, детали сельскохозяйственных машин, корпусы пневматических инструментов, детали оптических приборов
КЧ33-8	Детали тормозов, хомуты, педали, колодки, ключи
КЧ35-10 КЧ37-12	Картеры – заднего моста, дифференциала и руля, ступицы колес, кронштейны двигателя и рессор, тормозные колодки, пробки, балансиры, катки, втулки в автомобильной промышленности
КЧ45-6 КЧ45-4 КЧ56-4	Зубчатые колеса, червячные колеса, поршни
КЧ60-3 КЧ63-2	Износостойкие детали: звенья цепей; подшипники, зубчатые колеса

Таблица 10

Механические свойства отливок из ковкого чугуна (ГОСТ 1215-79)

Марка	$\sigma_в$, МПа, не менее	δ, %	Твердость НВ, МПа, не более
КЧ30-6 КЧ33-8 КЧ35-10 КЧ37-12	294 324 344 363	6 8 10 12	1600
КЧ45-6 КЧ50-4	441 490	6 4	2365
КЧ56-4 КЧ60-3 КЧ63-2	549 588 618	4 3 2	2640

Отливки из ковкого чугуна получают путем отжига белого чугуна с целью получения структуры, состоящей из феррита, перлита и графита, и придания чугуну необходимых механических свойств. В зависимости от химического состава чугуна и режима отжига можно получить ферритную, перлитную или перлитно-ферритную металлическую основу.

ГОСТ 1585-85 предусматривает три группы отливок из *антифрикционных чугунов*:

серый с пластинчатым графитом марок: АЧС-1 – перлитный серый чугун, легированный хромом и медью; АЧС-2 – то же, дополнительно легированный никелем и титаном; АЧС-3 – перлитоферритный серый чугун, легированный титаном и медью; АЧС-4 – перлитный серый чугун, легированный сурьмой; АЧС-5 – аустенитный серый чугун, легированный марганцем и алюминием; АЧС-6 – перлитно-пористый серый чугун, легированный свинцом и фосфором;

высокопрочный с шаровидной формой графита: АЧВ-1 – высокопрочный перлитный чугун; АЧВ-2 – высокопрочный перлитно-ферритный чугун;

ковкий с хлопьевидной формой графита марок: АЧК-1 – перлитный ковкий чугун, легированный медью; АЧК-2 – ферритно-перлитный и перлитно-ферритный ковкий чугун. Характеристики отливок из антифрикционного чугуна приведены в табл. 11.

Таблица 11

Характеристики отливок из антифрикционного чугуна (ГОСТ 1585-85)

Марка чугуна	Твердость НВ, МПа	Характеристика и назначение чугуна
АЧС-1	1766-2364	Перлитный чугун, легированный хромом и медью; предназначен для работы в паре с термически обработанным (закаленным или нормализованным) валом
АЧС-2	1766-2246	Перлитный чугун, легированный хромом, никелем, титаном и медью; предназначен для работы в паре с термически обработанным (закаленным или нормализованным) валом
АЧС-3	1570-1864	Перлитно-ферритный чугун, легированный титаном и медью; предназначен для работы в паре с «сырым» (в состоянии поставки) или термически обработанным валом
АЧС-4	1766-2246	Перлитный чугун, легированный сурьмой; предназначен для работы в паре с термически обработанным (закаленным или нормализованным) валом
АЧС-5	1766-2845 (литое состояние); 1373-1766 (после закалки)	Аустенитный чугун, легированный марганцем и алюминием; предназначен для работы в особо нагруженных узлах трения в паре с термически обработанным (закаленным или нормализованным) валом
АЧС-6	981-1177	Перлитный пористый чугун, легированный свинцом и фосфором; предназначен для работы в узлах трения с температурой до 300 ^{0}С в паре с «сырым» (в состоянии поставки) валом
АЧВ-1	2060- 2550	Перлитный чугун; предназначен для работы в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с термически обработанным (закаленным или нормализованным) валом
АЧВ-2	1638-1933	Перлитно-ферритный чугун; предназначен для работы в условиях трения с повышенными окружными скоростями в паре с «сырым» (в состоянии поставки) валом
АЧК-1	1834-2246	Перлитный чугун, легированный медью; предназначен для работы в паре с термически обработанным валом
АЧК-2	1638-1933	Ферритно-перлитный и перлитно-ферритный ковкий чугун; предназначен для работы в паре с «сырым» валом

Специальное назначение имеют антифрикционные чугуны, способные работать в условиях трения как, например, подшипники скольжения.

Для получения специальных свойств производится легирование чугуна Cr, Ni, A1, Mo, Mn, Si и др. В маркировке *легированных чугунов* указывают среднее содержание (в %) основных легирующих элементов после их буквенного обозначения (Х – хром, Н – никель, Ю – алюминий, М – молибден, С – кремний, Г – марганец, Д – медь, Т – титан, П – фосфор). Буква Ш в конце маркировки указывает на то, что графит в чугуне имеет шаровидную форму, если Ш отсутствует, то графит пластинчатый.

Отливки из легированного чугуна (ГОСТ 7769-82) можно эксплуатировать при температурах до 1000°С (жаростойкие чугуны) и в газовых средах при температурах до 600°С (коррозионно-стойкие чугуны).

Жаростойкие чугуны марок Ж4Ю6С5, Ж4Ю22, Ж4Ю30 и Ж4Х16 обладают достаточной жаростойкостью – способностью оказывать сопротивление окалинообразованию – не более 0,5 г/(м^2·ч) и росту отливки – не более 0,2 % при температуре эксплуатации. Из этих чугунов изготавливают шиберы газогенераторов, колосники, втулки клапанов, гильзы цилиндров автомобильных двигателей и т.п. детали.

Коррозионно-стойкие и жаропрочные чугуны марок 4НХТ, 4Н1ХД, 4Н15ДХ2 и 4Н11ГХ2Ш применяются для изготовления деталей: маслоты для поршневых колец, блоки и головки цилиндров, выхлопные патрубки двигателей внутреннего сгорания, поршни и гильзы цилиндров, седла и направляющие втулки клапанов, корпуса насосов и др.

Отливки из *белого чугуна* широко применяют для изготовления деталей дробильного оборудования (брони шаровых мельниц, мелящих шаров), деталей шламовых насосов, лопастей шнеков, лопаток дробеметных турбин и т.п. Белый нелегированный чугун обладает повышенной хрупкостью и при обычных режимах не поддается обработке резанием. Отливки, имеющие белый излом по всему сечению, применяют в случаях, когда детали не требуют механической обработки и не подвергаются в процессе эксплуатации ударным нагрузкам.

Детали, работающие в условиях усиленного износа и повышенных нагрузок, например прокатные валки, крановые, рудничные и конвейерные колеса, изготавливают из *чугуна с поверхностным отбелом*. Макроструктура отливок состоит из наружного слоя белого чугуна, обеспечивающего высокое сопротивление износу, и сердцевины из серого чугуна, обеспечивающего вязкость и прочность отливки.

В особо жестких условиях эксплуатации для повышения абразивной стойкости применяют *легированные белые чугуны*, в основном хромоникелевый чугун, «нихард», содержащий до 5 % никеля и до 2,5 % хрома. Такой чугун обладает высокой твердостью и прочностью благодаря мартенситной структуре.

Отливки с наружным отбеленным слоем получают в результате ускорения охлаждения наружных слоев металла для отливок из серого чугуна с помощью холодильников (кокилей). Изменяя интенсивность охлаждения и содержание углерода и кремния в чугуне можно получать отливки с различной глубиной зоны чистого отбела и переходной зоны, а также регулировать твердость отбеленного слоя.

Исходные материалы и оборудование для плавки чугуна

В литейных цехах могут устанавливать различные типы печей: вагранка, пламенная печь, конвертер или электропечь. Чаще всего чугун выплавляют в вагранках – шахтных печах, по устройству похожих на домну, но значительно меньших размеров и с простой схемой обслуживающего устройства.

Составляющими металлической шихты для плавки чугуна являются литейный и передельный чушковые чугуны, ферросплавы, собственные отходы производства (литники, брак), чугунный и стальной лом.

В качестве флюса преимущественно используют известняк, в качестве карбюризатора – гранулированный графит и электродный порошок (стружку). С помощью карбюризаторов проводят науглероживание чугуна при использовании в шихте большого количества стального лома.

По виду используемого топлива вагранки подразделяют на коксовые, коксогазовые и газовые. Наиболее распространены коксовые вагранки. Топливом в ней служит литейный кокс, который загружается в шахту вагранки через загрузочное окно вместе с металлической шихтой и флюсом порциями (колошами). В зону горения кокса подается равномерно дутье (воздух) через ряд фурм. Расплавленный чугун и образовавшиеся шлаки стекают по кускам раскаленного кокса на подину шахты, откуда через соединительную летку поступают в копильник, служащий для сбора нужного количества чугуна и улучшения его свойств. Когда уровень шлака достигает шлаковой летки, его выпускают из копильника. Затем выпускают чугун через металлическую летку. При непрерывной разливке чугуна в формы вагранка может быть без копильника. Температура чугуна на желобе составляет 1350-1480°С.

Производительность отдельных крупных вагранок с диаметром шахты до 3000 мм достигает 60 т/ч. Для повышения производительности вагранки или температуры выплавленного чугуна применяют дутье, подогретое до 350-450°С. Модификации вагранок различаются по длительности межремонтного цикла: до 24, до 80 и свыше 80 часов. В двух последних случаях вагранки имеют оросительное водяное охлаждение плавильного пояса и водоохлаждаемые фурмы.

Снижение расхода дефицитного кокса достигается в коксогазовых вагранках, в которых топливом служит кокс и природный газ. Газ сжигается в туннелях, расположенных по окружности шахты над фурмами. При расходе природного газа в количестве 35-40 $м^3$ на 1 т чугуна расход кокса уменьшается до 7-9 % от массы металлозавалки.

Использование кокса полностью исключается в газовых вагранках, работающих на природном газе. Их отличительная особенность состоит в том, что плавильная зона шахты заполнена огнеупорной насадкой, заменяющей коксовую колошу. Материалом насадки служат шамотные и высокоглиноземистые блоки или кирпичи и бой графитовых электродов, являющийся карбюризатором. В зависимости от производительности вагранки плавильная зона обогревается четырьмя – шестью горелками. Расход природного газа на 1 т чугуна составляет 110-150 $м^3$.

Газовые вагранки экологически более чистые, чем коксовые. Для них не нужны сложные системы газоочистки, так как содержание пыли в отходящих газах незначительно. Для защиты окружающей среды от пыли и оксида углерода в отходящих газах при сжигании кокса

созданы коксовые вагранки закрытого типа, в которых производится полная очистка и дожигание газов.

Плавка чугуна в *тигельных индукционных печах* промышленной частоты имеет ряд преимуществ: возможность получения точного химического состава, низкий угар элементов (это особенно важно при выплавке легированного чугуна), высокий перегрев металла, возможность использования в шихте большого количества стальных отходов и стружки.

При получении высокопрочного чугуна плавку ведут в *дуговых электрических печах,* обеспечивающих возможность проведения металлургических процессов в восстановительной и нейтральной атмосфере и высокую производительность. Недостаток этих печей – низкий КПД при перегреве, значительный шум, выделение дыма при работе, большой угар элементов.

Наиболее совершенным и эффективным процессом является дуплекс процесс. При этом процессе получают чугун в двух последовательно работающих плавильных агрегатах: в первом расплавляют шихту, а во втором жидкий чугун подвергается температурно-временной обработке, и при необходимости проводится доводка химического состава. В качестве первичных агрегатов обычно используют вагранку или индукционную тигельную печь, а вторичного – канальную индукционную, тигельную или дуговую печь.

Жидкий металл доставляется к собранным формам в разливочных ковшах, выполненных из листовой стали. Внутренняя полость ковшей футеруется глиняной огнеупорной обмазкой или огнеупорным кирпичом.

Сталь – универсальный материал для литья. Стальные отливки классифицируют по способу выплавки, химическому составу, структуре и назначению. Различают пять классов сталей для промышленного литья:

малоуглеродистые (с содержанием углерода менее 0,2%);

среднеуглеродистые (0,2-0,5 % углерода);

высокоуглеродистые (более 0,5 % углерода);

низколегированные (менее 8 % легирующих элементов);

высоколегированные (более 8 % легирующих элементов).

Наибольшее применение в конструкциях машин получили среднеуглеродистые стали. Судовые отливки выполняют из углеродистых и легированных сталей с содержанием углерода не более 0,60 %. При необходимости изготовления литосварной конструкции в литейной стали углерода не должно быть более 0,17-0,20 %. Снижение его содержания обеспечивает свариваемость материала отливки, но отрицательно сказывается на литейных свойствах стали, поскольку мягкая сталь склонна к горячему трещинообразованию, возникновению неплотностей, газовых раковин. Целесообразный верхний предел содержания углерода для судостроительной углеродистой литейной стали равен 0,45 %.

На механические свойства стали положительно влияет Mn. Он же действует как раскислитель и обезвреживает серу, которая вызывает у отливок красноломкость и горячие трещины. Содержание Mn в составе литейной стали желательно поддерживать на уровне 0,8 %, а количество S ограничивать 0,05 %. Для устранения газовых пузырей и раковин литейная сталь должна быть спокойной выплавки. Поэтому в ее состав вводят не менее 0,2 % Si и Al, ограничивая его остаточное содержание до 0,05 %.

Малые количества Al, а также Ti обеспечивают, кроме того, мелкозернистую структуру металла. Содержание фосфора ограничивается в пределах 0,04-0,06 % в зависимости от процесса выплавки стали (основного или кислого) и группы качества отливки.

Конструкционные легированные стали отличаются от углеродистых повышенными прочностными, физическими и химическими свойствами, например, высокой стойкостью в условиях морской воды и в других средах. Большинство легированных сталей обеспечивает одинаковую структуру и равномерные механические свойства по всему поперечному сечению отливок. Высоколегированные стали со специальными свойствами по ГОСТ 977-88 применяются для изготовления отливок из коррозионно-стойкой, жаростойкой, жаропрочной, износостойкой и кавитационно-стойкой сталей. Для криогенной техники и оборудования (машин), работающего в районах Крайнего Севера, литые детали изготавливают из специально разработанных хладостойких и износостойких сталей, позволяющих эксплуатировать технику при температуре до -60°С.

Для изготовления литых изделий, работающих при значительных ударных нагрузках, например винтов ледокола, эффективно применение сталей, легированных Ni и Cr. При содержании в стали 3 % Ni и 1 % Cr ударная вязкость возрастает в сравнении с углеродистой сталью в два раза. Для штевней ряда судов и ковшей землечерпалок требуется высокая износостойкость, что достигается за счет увеличения количества Mn до 1,5-2 %.

Сведения о назначении и общая характеристика углеродистых и легированных литейных сталей приведены в табл. 12 и 13.

Для отливок контролируемыми показателями являются: внешний вид, размеры, химический состав и механические свойства.

Литые стали по своим свойствам близки к кованой стали. Предел прочности литой стали при растяжении ($\sigma_в$) составляет от 400 до 1500 МПа. Масса отливок может изменяться в широком диапазоне – от 100 г до 200 т и более, толщина в сечении – от 5 до 1,5 м. Длина отливки может превышать 30 м.

Линейная усадка для углеродистых и легированных сталей составляет 2,2-2,3 %. Для некоторых высоколегированных сталей (12Х18Н9ТЛ) она достигает 2,7-2,8 %. В реальных условиях затвердевания из-за механического и термического торможения изменение линейных размеров отливки меньше. Тонкостенные отливки сложной конфигурации имею линейную усадку, равную 1,23-1,5 %, а толстостенные – 2,0-2,3 %. Такую усадку принято называть *литейной*. Литейная усадка нестабильна, в реальных условиях может изменяться в заметных пределах, сказываясь на точности отливок.

Таблица 12

Назначение и общая характеристика стальных отливок (ГОСТ 977-88)

Сталь	Назначение
15Л	Детали, подвергающиеся ударным нагрузкам (копровые бабы, захваты, блоки, ролики и др.) и резким изменениям температуры, а также детали сварно-литых конструкций с большим объемом сварки
20Л	Арматура и детали трубопроводов, фасонные отливки, изготовляемые методом выплавляемых моделей, детали сварно-литых конструкций, от-

	ветственные детали автосцепки (корпуса, тяговые хомуты, замковые упорные плиты)
25Л	Станины прокатных станов, шкивы, траверсы, поршни, корпуса подшипников, зубчатые колеса, арматура паровых турбин, оси, валы и др. детали, работающие под действием средних статических и динамических нагрузок. Сталь не чувствительна к перегреву, детали могут работать при температуре – 40-+450°С под давлением
30Л	Корпуса и обоймы турбомашин, детали гидротурбин, рычаги, балансиры, корпуса редукторов, муфты, шкивы, кронштейны, станины, балки, бандажи, маховики и другие детали, работающие под действием средних статических и динамических нагрузок. Сталь применяют в нормализованном или улучшенном состоянии
35Л	Корпуса и обоймы трубомашин, станины прокатных станов, бабы паровых молотов, задвижки, вилки, кронштейны и другие детали, работающие под действием средних статических и динамических нагрузок. Сталь применяют в улучшенном состоянии и после упрочнения ТВЧ
40Л, 45Л	Станины, корпуса, муфты, тормозные диски, зубчатые колеса, кожухи, вилки, звездочки, детали лебедки, храповики и другие ответственные детали к которым предъявляют требования повышенной прочности и высокого сопротивления износу. Детали, работающие под давлением при температуре от -30 до +450°С. Сталь применяют в нормализованном и улучшенном состоянии и после поверхностного упрочнения
50Л, 55Л	Зубчатые колеса, бегунки, зубчатые венцы, зубчатые муфты, ходовые колеса, валки станов для прокатки мягкого металла. Сталь применяют в нормализованном и улучшенном состоянии и после поверхностного упрочнения с нагревом ТВЧ

Жидкотекучесть и формозаполняемость при изготовлении стальных отливок хуже, чем чугунных. Для среднеуглеродистых и некоторых легированных хромистых и хромоникелевых сталей интервал кристаллизации равен 30-55°С. Для высокоуглеродистых и высокомарганцовистых сталей интервал кристаллизации увеличивается с 60 до 120°С, если содержание углерода возрастет с 0,6 до 1 % (сталь 110Г13Л).

Стальные отливки подвергаются обычно термической обработке: нормализации с последующим отпуском или закалке с высоким отпуском.

Отливки из углеродистой, углеродисто-марганцевой и легированной стали для нужд судостроения и судоремонта должны удовлетворять требованиям Правил Регистра РФ (ч. XIII. Материалы). В зависимости от назначения и условий работы в составе корпусных конструкций действующий в отрасли стандарт ОСТ 5.9295-78 «Отливки стальные. Классификация и технические требования» подразделяет отливки на четыре группы по степени ответственности изделия. Для каждой группы установлен объем обязательных испытаний и сдаточных характеристик.

Таблица 13

Назначение и общая характеристика легированных сталей

Сталь	Назначение
35ГЛ	Диски, звездочки, зубчатые венцы, шкивы, крестовины, траверсы, ступицы, вилки, зубчатые колеса, валы, кулачковые муфты, крышки подшипников, цапфы, детали экскаваторов и др. детали дробильно-размольного оборудования
30ГСЛ	Рычаги, фланцы, сектора, венцы зубчатые, ролики-обоймы, колеса ходовые и др.
40ХЛ	Фасонные отливки, отливаемые методом точного литья, зубчатые колеса, бандажи, отливки небольших сечений и другие детали общего машиностроения, к которым предъявляются требования повышенной твердости.
35ХМЛ	Ответственные нагруженные детали, работающие при повышенных температурах (специальные пластины, крестовины, втулки, зубчатые колеса и др.)
35ХГСЛ	Зубчатые колеса, подушки, рычаги, толкатели, оси, валы, муфты и другие детали, подвергающиеся износу и ударным нагрузкам. Сталь нетехнологична для деталей сложной конфигурации, склонна к образованию трещин и поводке при отливке и термообработке, поэтому необходимо тщательно соблюдать установленный режим охлаждения в опоках, отрезать прибыли в горячем состоянии или на отожженных отливках
08ГДНФЛ 13ХНДФТЛ 12ДХЖМФТЛ	Различные детали для судостроения. Сталь марки 08ГДНФЛ применяют для литых деталей, работающих при температуре до – 60°С

Если для отливок, размеры которых определяются из конструктивных и технологических соображений (роульсов, рам иллюминаторов, штурвальных тумб и т. п.), достаточной характеристикой является анализ химического состава плавки, то для отливок ответственного назначения (якорных клюзов, кронштейнов гребных валов, штевней и т. п.) дополнительно требуется определение механических свойств стали (временного сопротивления, предела текучести, относительного удлинения, относительного сужения, твердости, работы удара). Для отливок, предназначенных для изготовления сварных конструкций судов и ПБУ, работающих при минусовых температурах, подвергающихся ударам или знакопеременным нагрузкам (фор- и ахтерштевней, кронштейнов гребных валов судов ледового плавания, хвостовой части литосварных баллеров рулей, фитингов контейнеров и т. п.), дополнительной сдаточной характеристикой является результат испытания на ударный изгиб при температуре минус 40°С (либо минус 60°С, в зависимости от рабочей температуры конструкции).

Отливки изготовляют из стали углеродистой марок 20Л, 25Л, 35Л, кремнемарганцевой марок 20ГСЛ, 30ГСЛ, дисперсионно-упрочняемой марок 08ГДНЛ (СЛ-30), 08ГДНФЛ (СЛ-2), 12ГДНМЛ, 20ГСНДМЛ, коррозионно-стойкой 08Х14НДЛ, 08Х15Н4ДМЛ.

Условия работы марок сталей, применяемых в корпусных конструкциях и устройствах, приведены в табл. 14.

Таблица 14

Условия работы отливок для корпусных конструкций и устройств

Марка стали	Условия работы	Свариваемость
20Л	Отливки нормальной прочности	Хорошая
25Л, 35Л	То же	Удовлетворительная, после сварки, требуется термообработка
30ГСЛ	Отливки повышенной прочности, а также работающие на износ	Ограниченная, требуются предварительный нагрев и последующая термообработка
20ГСЛ	Отливки повышенной прочности	Удовлетворительная, после сварки требуется термообработка
08ГДНФЛ, 08ГДНЛ	Литосварные и комбинированные конструкции, а также отливки, привариваемые к корпусу	Хорошая, после электрошлаковой сварки требуется термообработка сварного соединения
08Х14НДЛ, 08Х15Н4ДМЛ	Гребные винты и другие детали, работающие в морской воде	Ограниченная, после сварки требуется термообработка

В соответствии с Правилами Регистра РФ отливки изготовляют из спокойной стали. При этом химический состав углеродистой и углеродисто-марганцевой стали должен отвечать следующим предельным значениям, % (не более): углерод, никель – по 0,4; кремний – 0,6; марганец – 0,5-1,6; сера, фосфор – по 0,04; медь, хром – 0,3; молибден – 0,15.

Для ответственных стальных отливок, подлежащих сварке (для корпусных конструкций, судовых устройств, угловых фитингов контейнеров и т.п.), массовая доля углерода не должна превышать 0,23 % по анализу ковшовой пробы (не более 0,25 % в отдельной отливке), а сумма хрома и молибдена не более 0,3 %. Химический состав каждой плавки должен быть подтвержден документом завода-изготовителя.

Для получения требуемой структуры и механических свойств отливки должны подвергаться термической обработке. Свойства сталей по ОСТ 5.9285-78 должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 15.

Для отливок из стали марок 20Л и 25Л допускается удаление прибылей после термообработки. Мелкие дефекты (кроме трещин), не влияющие на качество отливок, могут быть допущены без исправления, на обрабатываемых поверхностях не допускаются дефекты, глубина которых превышает 2/3 припуска на механическую обработку.

Удаление и исправление дефектов заваркой, а также последующая термообработка должны производиться в соответствии с требованиями. ОСТ 5.9137-83. Литосварные детали и конструкции, изготовленные электрошлаковой сваркой, подлежат дополнительной термообработке, обеспечивающей перекристаллизацию сварного шва и зоны влияния сварки.

Таблица 15

Механические свойства отливок

Марка стали	Рекомендуемые режимы термообработки, °С	$\sigma_т$, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ/ψ, %	KCV, кДж/м^2		НВ
					+20	-40	
		Не менее					
20Л	Нормализация 890-920, отпуск 630-670	220	420	22/35	500	-	116-144
25Л	Нормализация 880-910, отпуск 630-670	240	450	20/30	400	-	124-151
35Л	Нормализация 860-890, отпуск 630-670	280	500	17/27	350	-	137-166
20ГСЛ	Нормализация 900-950, отпуск 570-600	300	550	18/30	300	-	149-197
30ГСЛ	Нормализация 920-950, отпуск 570-650 Закалка 900-930, вода, отпуск 570-650, вода	350 400	600 650	14/25 14/30	300 500	- -	170-229 187-241
08ГДНЛ	I нормализация 930-970, II нормализация 920-950, отпуск 590-650	300	400	20/45	-	500	120-167
08ГДНФЛ	I нормализация 930-970, II нормализация 920-950, отпуск 590-650	380	480	20/45	-	500	159-192
08Х14НДЛ	Закалка 980-1000, воздух, двойной отпуск 670-700	520	650	15/40	21*	-	241
08Х15Н4ДМЛ	Закалка 1030-1050, воздух, отпуск 600-620	600	750	17/45	40*	-	290
Для сталей марок 08Х14НДЛ, 08Х15Н4ДМЛ приведены значения работы удара KV, Дж							

Допускается правка отливок в горячем и холодном состояниях. Технология правки, а также необходимость последующей термообработки и ее режим устанавливаются техническими условиями заказа, а при их отсутствии – стандартом или технологическим процессом предприятия-изготовителя.

Стальные отливки для *угловых фитингов контейнеров* (гнезд в настиле палуб для крепления контейнеров и оттяжек) должны быть изготовлены из литейной стали следующего химического состава (по плавочному анализу ковшовой пробы): углерода не более 0,23 % по массе, марганца – 1,15-1,45 %, фосфора – не более 0,03 %, серы – не более 0,03 %, хрома и молибдена в сумме – не более 0,3 % либо эквивалент углерода $C_{ат}$ не более 0,45 %. Отливки

подвергают термообработке (нормализации или отжигу). Устранение дефектов при помощи сварки допускается только по согласованию с инспектором Регистра РФ.

Для выплавки литейных сталей широко применяют следующие плавильные агрегаты:

1. Кислые и основные дуговые печи (в них выплавляют 90 % литейных сталей для изготовления самых разнообразных по массе и конфигурации отливок в цехах массового и среднесерийного производства);
2. Кислые и основные индукционные печи (в цехах, выпускающих мелкие отливки различного назначения);
3. Кислые и основные мартеновские печи (в старых цехах при реконструкции их заменяют электропечами);
4. Установки электрошлакового переплава (в цехах, выпускающих особо ответственные отливки специального назначения);
5. Конверторы с верхним кислородным дутьем (для производства крупных отливок преимущественно на металлургических заводах).

Медные сплавы наряду с достаточной прочностью имеют высокие антифрикционные свойства, хорошо противостоят коррозии в морской воде, паре и других средах, сохраняют высокую пластичность при низкой температуре. Они немагнитны, легко полируются и обрабатываются резаньем.

Оловянные бронзы широко применяют для изготовления арматуры, подшипников, шестерен, втулок, работающих в условиях трения, повышенного трения, воды и водяного пара. Хорошая жидкотекучесть бронз позволяет литьем в песчаные формы получать сложные по конфигурации отливки. Характерной особенностью сплавов этой группы является широкий интервал кристаллизации (150-200°С), что обуславливает значительные трудности получения плотных отливок. Медь и особенно олово дефицитны, поэтому применять бронзы следует лишь в тех случаях, когда использование других, недефицитных, материалов нерационально.

Безоловянные бронзы по механическим, коррозионным и антифрикционным свойствам превосходят оловянные, но обладают более низкими литейными механическими свойствами. Литейные безоловянные бронзы подразделяют на четыре группы: алюминиевые, марганцевые, свинцовые и сурьмянистые. Наиболее широко применяют алюминиевые бронзы для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжело нагруженных шестерен и зубчатых колес, корпусов насосов. Марганцовистая бронза обладает высокой пластичностью и коррозионной стойкостью, но невысокими механическими качествами. Свинцовистая бронза, обладающая высокими антифрикционными качествами, используется для изготовления подшипников дизелей с большим удельным давлением (например марки БрС30). Бериллиевая бронза, обладающая хорошей твердостью, износоустойчивостью, упругостью и значительным пределом усталости, употребляется для изготовления пружин насосов и деталей, соприкасающихся с морской водой.

В судостроении и судоремонте арматуру сложной формы, червячные колеса, корпуса, клапаны, детали теплообменных аппаратов часто отливают из бронзы БрО3Ц7С5Н1. Оловянные, алюминиевые и свинцовистые бронзы используют для изготовления тяжелонагруженных подшипников скольжения в поршневых машинах (Бр10ОФ1), втулок сальников (БрО6Ц6С3),

штоков гидравлических цилиндров (БрС30), поршней, облицовки штоков насосов, работающих в морской воде (БрА9Мц2). Эти сплавы, обладая хорошими антифрикционными свойствами, сравнительно мало изнашиваются.

Фасонные отливки изготовляют преимущественно из сложнолегированных латуней, двойные латуни используют сравнительно редко. Легирование двойных латуней *алюминием* или *кремнием* повышает жидкотекучесть, коррозионную стойкость, механические свойства сплавов и уменьшает угар цинка при плавке. Вместе с тем алюминий и кремний повышают склонность латуней к газонасыщению и образованию пористости. *Железо* и *марганец* улучшают механические свойства латуней, но снижают жидкотекучесть. *Олово*, улучшая механические свойства латуней, не оказывает влияния на их литейные свойства.

Латуни применяют для изготовления втулок и сепараторов подшипников (ЛЦ40С), деталей, работающих при ударных нагрузках (ЛЦ40Мц1,5); конструкционных деталей для судов (ЛЦ40МцЗЖ), антифрикционных деталей (ЛЦ38Мц2С2), деталей для тяжелого машиностроения (ЛЦ23А6ЖЗМц2) и др. Кремневая латунь ЛЦ16К4 обладает высокой жидкотекучестью, хорошо обрабатывается резаньем и сваривается. Ее применяют для изготовления арматуры испытывающей повышенное воздушное и гидравлическое давление, работающей в агрессивных средах (морской соде, серной кислоте и т.д.).

Алюминиевые латуни, обладающие хорошей коррозионной стойкостью в морской воде, широко применяют в судостроении. Марганцовые латуни применяют для изготовления жаростойких и коррозионно-стойких отливок. Свинцовую латунь используют как антифрикционный материал.

Отливки из медных сплавов в основном не подвергают термической обработке. В ряде случаев для снятия остаточных термических напряжений и уменьшения ликвации применяют отжиг отливок.

Для плавки медных сплавов широко используют индукционные тигельные (открытые и вакуумные) и канальные печи, а также электродуговые и топливные отражательные. Для плавки латуней исключается применение дуговых и вакуумных печей из-за высокого испарения цинка.

При плавке на воздухе медные сплавы окисляются и насыщаются водородом, что снижает свойства сплавов. Для защиты от окисления плавку сплавов ведут под покровом древесного угля или флюсов. Чтобы предупредить образование твердых нерастворимых оксидов, медь перед введением легирующих элементов раскисляют фосфором (0,1-0,5 %).

Медные сплавы модифицируют с целью измельчения зерна и нейтрализации вредных примесей. Для измельчения зерна в сплавы вводят 0,15-0,2% тугоплавких элементов (Ti, V, Zr, B, W, Mo). Для нейтрализации вредного влияния примесей висмута, сурьмы, мышьяка и свинца в двойные латуни вводят до 0,2 % кальция, до 0,3 % церия или циркония.

Свойства и область применения литейных бронз приведены в табл. 16.

Таблица 16

Свойства и область применения литейных бронз

Марка бронзы	Способ литья	$\sigma_в$, МПа	δ_5,%	НВ, МПа	Область применения
		не менее			
БрА9Мц2 БрА10Мц2	К П	392 490	20 12	784 1078	Антифрикционные детали, детали арматуры, работающие в пресной воде, топливе и паре при температуре свыше 250°С
БрА9Ж3	К П	490 392	12 10	980	Арматура, антифрикционные детали
БрА10Ж3Мц2	К П	490 392	12 10	1176 980	
БрА10Ж4Н4	К П	587	6 5	1666 1568	Детали химической и пищевой промышленности; детали, работающие при повышенных температурах
БрА11Ж6Н6 БрА9Ж4Н4Мц1	К П	587	2 12	2450 1568	Арматура, антифрикционные детали Арматура для морской воды
БрС30 БрА7Мц15Ж3Н2Ц2	К П	58,7 607	4 18	245 -	Антифрикционные детали
1. Условные обозначения литья: К – литье в кокиль: П – литье в песчаную форму. 2. В марке БрА9Ж3 при литье в кокиль допускается относительное удлинение не менее 6 %, если твердость НВ превышает 1568 МПа (160 кгс/мм^2).					

Алюминиевые литейные сплавы, благодаря низкому удельному весу, высокой удельной прочности, электро- и теплопроводности, высокой коррозионной стойкости широко применяют в судостроении, машиностроении, приборостроении и электротехнической промышленности.

Алюминиевые литейные сплавы обладают хорошими литейными свойствами: повышенной жидкотекучестью, обеспечивающей получение тонкостенных и сложных по конфигурации отливок; сравнительно невысокой линейной усадкой, пониженной склонностью к образованию горячих трещин.

Для изготовления отливок сложной формы используют сплавы, которые в зависимости от компонентов, добавляемых к алюминию, подразделяют на пять групп (табл. 17). Основным компонентом (кроме алюминия) в сплавах I группы является Si (силумины), II группы – Si и Cu (медистые силумины), III группы – Cu, IV – Mg. В пятую группу входят сложнолегированные сплавы. К сплавам группы V относятся, в частности, сплавы на основе систем Al–Si–Zn (АК7Ц9) Al– Zn–Mg (АЦ4Мг). Их называют «самозакаливающимися», поскольку они способны упрочняться в результате закалки при охлаждении в форме (особенно металлической) и последующего естественного старения. Это позволяет производить крупные отливки высокой

прочности без термической обработки, требующей соответствующее оборудование и приводящей к возможному короблению и растрескиванию отливок при резком охлаждении в процессе закалки. По литейным свойствам и герметичности сплавы не уступают силуминам. Но коррозионная стойкость сплава АК7Ц9 низкая.

Таблица 17

Алюминиевые литейные сплавы (ГОСТ 2685-81)

Группа сплавов	Марка сплава	Химический состав, %				
		Si	Cu	Mg	Mn	Другие элементы
1	АК12 (АЛ2) АК9ч (АЛ4) АК7ч (АЛ9)	10-13 8-10,5 6-8	- - -	- 0,17-0,3 0,2-0,4	- 0,2-0,5 -	- - -
2	АК5М (АЛ5) АК8М (АЛ32)	4,5-5,5 7,5-8,5	1,5-3 1-1,5	0,35-0,6 0,3-0,5	0,6-0,9 0,3-0,5	- 0,1-0,3 Ti
3	АМ5 (АЛ19)	-	4,5-5,3	-	0,6-1	0,15-0,35 Ti
4	АМг10 (АЛ27)	-	-	9,5-10,5	-	0,05-0,15 Ti 0,05-0,15 Be 0,05-0,2 Zr
5	АК12ММгН (АЛ30)	11-13	0,8-1,5	0,8-1,3	-	0,8-1,3 Ni

Литейные свойства алюминиевых сплавов представлены в табл. 18.

Таблица 18

Литейные свойства алюминиевых сплавов

Марка сплава	Жидкотекучесть, мм	Усадка, %		Температуры ликвидуса/солидуса, °С
		линейная	объемная	
АК12	820	0,9-1,0	3,0-3,5	577/577
АК9ч	800	1,0-1,1	3,2-3,4	601/569
АК7ч	770	1,1-1,2	3,7-3,9	620/577
АК5М	750	1,15-1,2	4,5-4,9	622/570
АМг11	650	1,2-1,25	4,7	570/445
АМг5К	500	1,25-1,3	-	650/550

Алюминиевые сплавы склонны к образованию усадочной пористости, устранение которой в отливках достигают установкой массивных прибылей, холодильников, а для ответственных отливок кристаллизацией под давлением сжатого воздуха в автоклавах.

В зависимости от масштаба и специфики производства *плавку алюминиевых литейных сплавов* ведут в тигельных и отражательных печах, работающих на электроэнергии, жидком или газообразном топливе. Широко применяют электрические индукционные тигельные и канальные плавильные печи. При плавке большинства алюминиевых сплавов легирующие компоненты, за исключением Mg, Zn, а иногда и Cu, вводят в виде лигатур.

Алюминиевые сплавы в процессе плавки склонны к окислению и насыщению водородом, что приводит к образованию в отливках оксидных включений и газовой пористости. Поэтому расплавы предохраняют от окисления и насыщения водородом ведением плавки в вакууме, атмосфере инертных газов, в воздушной среде, содержащей фториды, применением покровных флюсов при плавке в слабоокислительной атмосфере, защитным легированием. В производственных условиях для защиты расплавов от взаимодействия с газовой средой широко используют покровные флюсы (например для большинства сплавов, кроме алюминиево-магниевых, можно использовать в качестве покровных флюсов состав (%): 45 NaCl, 55 KCl или 37 NaCl, 50 KCl, 6,6 Na_3AlF_6 6,4 CaF_2).

Несмотря на защиту расплавов при плавке на воздухе, они всегда обогащаются неметаллическими включениями и водородом, поэтому перед заливкой в формы требуют очистки. Расплавы очищают от растворенных металлических примесей (натрия, магния, железа и цинка), взвешенных оксидных неметаллических включений и растворенного водорода. Для этих целей применяют продувку расплавов инертными и активными газами, отстаивание, обработку хлористыми солями и флюсами, вакуумирование и фильтрование через сетчатые, зернистые и спеченные керамические фильтры.

Для повышения механических свойств отливок алюминиевые сплавы подвергаются модифицированию. Для измельчения зерна в расплавы вводят Ti, Zr, B или V в количестве 0,05-0,15 % от массы расплава. Модификаторы вводят в виде лигатур с алюминием при 720-750°С. Ряд силуминов модифицируют флюсами, в состав которых входит натрий. Заэвтектические силумины модифицируют с целью измельчения первичных кристаллов кремния.

Отливки из алюминиевых сплавов подвергаются различным видам термической обработки в зависимости от типа сплава, способа литья требуемых свойств. Например, отливки из сплава марки АК9ч, полученные литьем в кокиль или под давлением, подвергают термической обработке по режиму Т1 (искусственное старение без предварительной закалки) для улучшения обрабатываемости резанием с целью снижения шероховатости поверхности, а также для повышения прочности. Для сплава АК5М, применяемого для изготовления среднена-груженных корпусных деталей, головок цилиндров поршневых двигателей, термическая обработка по режиму Т1 способствует повышению механической прочности до 30 %.

Термически обработанные модифицированные силумины применяют для ответственных деталей: блоков двигателей внутреннего сгорания, поршней, корпусов насосов, арматуры и т.д. Из литейных сплавов системы Al–Mg изготавливают детали, несущие значительную нагрузку и требующие коррозионной стойкости: фасонные детали арматуры, детали приборов, корпуса иллюминаторов, кронштейны, киповые планки и кнехты.

Литейные сплавы на основе системы Al–Cu с добавками магния и никеля после термической обработки обладают высокими механическими свойствами и жаропрочностью, поэтому из них изготавливают поршни и головки поршней двигателей внутреннего сгорания, цилиндровые крышки и пр.

Магниевые литейные сплавы

Для изготовления фасонных отливок используют три группы магниевых сплавов: сплавы магния с алюминием и цинком, сплавы магния с цинком и цирконием, сплавы магния, легированные РЗМ (табл. 19).

Таблица 19

Химический состав, %, некоторых магниевых сплавов

Группа сплавов	Марка сплава	Al	Mn	Zn	Zr	Другие элементы
1	МЛ3	2,5-3,5	0,15-0,5	0,5-1,5	-	-
	МЛ4	5-7	0,15-0,5	2-3,5	-	-
	МЛ5	7,5-9	0,15-0,5	0,2-0,8	-	-
	МЛ6	9-10,2	0,1-0,5	0,6-1,2	-	-
2	МЛ8	-	-	5,5-6,6	0,7-1,1	0,2-0,8 Cd
	МЛ12	-	-	4-5	0,6-1,1	-
3	МЛ9	-	-	-	0,4-1	0,2-0,8 In 1,9-2,6 Nd
	МЛ19	-	-	0,1-0,6	0,4-1	1,4-2,2 Y, 1,6-2,3 Nd

Сплавы 1-й группы относятся к числу высокопрочных и предназначаются для производства высоконагруженных отливок, работающих в атмосфере с большой влажностью. Для повышения коррозионной стойкости в сплавы вводят 0,1-0,5 % Mn, а для снижения окисляемости 0,001-0,002 % Be или 0,5-0,1 % Ca. Основным упрочнителем в них является Al. Цинк также упрочняет магний, но менее эффективно, чем алюминий.

Сплавы 2-й группы также относят к числу высокопрочных. Они отличаются от магниевых сплавов других групп повышенными механическими свойствами и хорошей обрабатываемостью резанием. Легирование их лантаном улучшает литейные свойства, несколько повышает жаропрочность и свариваемость, но снижает прочность и пластичность при нормальной температуре. Эти сплавы обладают удовлетворительными литейными свойствами, имеют измельченные цирконием зерна, способны упрочняться при термической обработке. Из них можно получать отливки с однородными свойствами в различных по толщине сечениях. Их используют для изготовления отливок, работающих при 200-250°С и высоких нагрузках.

Сплавы 3-й группы обладают высокой жаропрочностью и хорошей коррозионной стойкостью. Они предназначены для длительной работы при 250-350°С и кратковременной при 400°С. Эти сплавы имеют хорошие литейные свойства, высокую герметичность, малую склонность к образованию микрорыхлот и усадочных трещин, высокие и однородные механические свойства в сечениях различной толщины. Сплавы с редкоземельными элементами применяют для изготовления отливок, работающих под воздействием статических и усталостных нагрузок.

Для изготовления отливок чаще используют сплавы первой группы. Например, сплав МЛ4 применяют для отливки картеров быстроходных двигателей, тормозных барабанов, цилиндров. Лучшими литейными свойствами обладают сплавы МЛ5 и МЛ6.

Плавка магниевых сплавов сопряжена с рядом трудностей, связанных, прежде всего с их легкой окисляемостью. На поверхности магниевых расплавов образуется рыхлая пленка оксида, не предохраняющая металл от дальнейшего окисления. При незначительном перегреве магниевые расплавы легко воспламеняются.

В процессе плавки магний и его сплавы активно взаимодействуют с газами, что приводит к снижению механических свойств и образованию микропористости в отливках. Для предотвращения интенсивного взаимодействия с печными газами плавку магниевых сплавов ведут под флюсами или в среде защитных газов. В настоящее время широко применяют безфлюсовую плавку, используя для защиты магниевых расплавов газовые смеси.

В зависимости от масштаба производства и массы отливок применяют три способа плавки литейных магниевых сплавов: в стационарных тиглях, выемных тиглях и дуплекс-процессом (в индукционной печи-тигле). Плавку в стационарных тиглях ведут при массовом или крупносерийном производстве мелких отливок.

Для измельчения зерна и повышения механических свойств магниевые сплавы, содержащие алюминий, подвергают модифицированию углеродсодержащими веществами. Перед модифицированием для предохранения от загорания в расплавы вводят 0,001-0,002 % Be.

Около 80 % отливок из магниевых сплавов изготовляют в металлических формах (в кокилях и под давлением) и около 20 % в песчаных формах.

С целью упрочнения и снятия внутренних напряжений отливки из магниевых сплавов подвергают различным видам термической обработки: Т1 (искусственное старение) – для повышения механических свойств; Т2 (отжиг) – для снятия остаточных напряжений; Т4 (гомогенизация и закалка на воздухе) – для повышения механических свойств; Т6 (гомогенизация, закалка на воздухе и старение) и Т61 (гомогенизация, закалка в воде и старение) – для повышения механических свойств.

Титановые литейные сплавы

Титановые отливки широко применяют в транспортном машиностроении (а именно, в самолетостроении и судостроении), т.к. титановые сплавы имеют высокую удельную прочность и коррозионную стойкость в атмосфере и морской воде.

Все титановые сплавы имеют узкие температурные интервалы кристаллизации и достаточно высокие механические свойства. Титановые сплавы обладают высокой жидкотекучестью и позволяют получать плотные отливки. Для фасонного литья используются технический титан и титановые сплавы марок ВТ5Л, ВТЗ-1Л, ВТ14Л (табл. 20). Из всех литейных сплавов наибольшее распространение получил сплав ВТ5Л.

Таблица 20

Химический состав и гарантированные механические свойства отливок из титановых литейных сплавов

Марка сплава	Химический состав, %				Механические свойства	
	A1	Cr	Mo	Fe	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %, не менее
Титан	-	-	-	-	450	15
ВТ5Л	5	-	-	-	700	6

ВТЗ-1 Л	5,5	2,0	2,0	-	900	5
ВТ14Л	4,0	0,4	3,0	0,4	900	7

Основные трудности производства фасонных титановых отливок обусловлены взаимодействием титана с формовочными и огнеупорными материалами, а также с газами. Поэтому *плавку титановых сплавов* проводят в вакууме (реже в среде инертных газов) и в графитовых или медных тиглях с гарнисажем на их внутренней поверхности (гарнисажных тиглях). Наибольшее распространение для фасонного литья титановых сплавов получили вакуумные дуговые и электронно-лучевые печи с центробежным способом заливки расплава в формы.

2.3 Классификация литых заготовок

Отливки чаще всего классифицируют по массе, сложности конфигурации и точности размеров. *В зависимости от массы* чугунные и стальные отливки подразделяют на мелкие, средние, крупные (табл. 21).

Таблица 21

Характеристика отливок по массе

Материал отливки	Масса, кг	Характеристика
Сталь углеродистая	до 2	мелкие
	2-50	средние
	св. 50	крупные
Сталь низколегированная	до 3	мелкие
	3-70	средние
	св. 70	крупные
Чугун серый	до 2	мелкие
	2-50	средние
	св. 50	крупные

Отливки из цветных сплавов по массе классифицируются по группам (табл. 22).

Таблица 22

Классификация отливок из цветных металлов по массе

Группа	Бронза, латунь, цинковые сплавы, кг	Алюминиевые сплавы, кг
1	до 0,25	до 0,2
2	0,25-1,0	0,2-0,4
3	1-4	0,4-0,8
4	4-10	0,8-1,6
5	10-20	1,6-3,2
6	20-50	3,2-6,3
7	50-200	6,3-12,5
8	200-500	12,5-25
9	св. 500	св. 25

По сложности конфигурации отливки подразделяют на группы:

первая группа сложности – *простые отливки*. Отливки преимущественно плоскостные, круглые или полусферические. Наружные поверхности гладкие и прямолинейные с наличием невысоких ребер, бобышек, отверстий, выступов и углублений. Внутренние поверхности гладкие, без выступов и углублений. Типовые отливки: крышки, рукоятки, вилки, рычаги, диски и др.;

вторая группа сложности – *несложные отливки*. Усложнены по сравнению с первой группой наличием на наружных поверхностях криволинейных ребер, буртиков, кронштейнов, фланцев, с отверстиями и углублениями простой конфигурации со свободным широким выходом наружу. Типовые отливки: подставки, плиты, колпаки, барабаны для мельниц, буксы, железнодорожные колеса и др.;

третья группа сложности – *отливки средней сложности*. Отливки открытой коробчатой, сферической, полусферической, цилиндрической и другой формы. Наружные поверхности криволинейные и прямолинейные с нависающими частями ребер, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями и углублениями сравнительно сложной конфигурации. Значительные части поверхности могут выполняться стержнями. Типовые отливки: блоки с литой канавкой, матрицы, звездочки, шестерни и зубчатые колеса с литыми и нарезными зубьями диаметром до 3 м, корпуса и др.;

четвертая группа сложности – *сложные ответственные отливки*. Отливки закрытой и частично открытой коробчатой цилиндрической формы. Наружные и внутренние поверхности имеют сложную конфигурацию. Многие части поверхностей выполняются стержнями. Типовые отливки: столы, корпуса и основания металлорежущих станков, салазки, станины прессов и молотов и др.;

пятая группа сложности – *особо сложные*, *особо ответственные отливки*. Отличается от четвертой группы отливок сложной конфигурацией с криволинейными поверхностями, пересекающимися под различными углами с выемками, выступами, расположенными в два и более яруса, с затрудненным выходом внутренних полостей. Типовые отливки: передние бабки и усложненные станины металлорежущих станков, станины молотов, сложные корпуса центробежных насосов, компрессоров дизелей и др.

В зависимости от условий работы литых деталей и вида контроля стальные отливки в соответствии с требованиями ГОСТ 977-75 «Отливки из конструкционной нелегированной и легированной стали. Общие технические условия» разделяют на три *группы сложности,* отличающиеся объемом обязательных контрольных испытаний и проверок.

К первой группе отнесены отливки для деталей общего назначения, не рассчитываемых на прочность и работающих при рабочем давлении не выше 10 кгс/см^2. Их контроль осуществляется по результатам внешнего осмотра и обмера в соответствии с чертежом, а также проверкой химического состава материала. К отливкам первой группы относятся дельные вещи, рамы, иллюминаторы, бортовые швартовные клюзы и т. п.

Отливки второй группы предназначены для изготовления деталей ответственного назначения, работающих при статических нагрузках или при давлении до 64 кгс/см^2. Они контролируются испытаниями на растяжение, а предел текучести и относительное сужение являются сдаточными характеристиками. К отливкам второй группы относятся палубные клюзы якорного устройства, детали судовых устройств, кингстонные захлопки, обтекатели гребных винтов и др.

К третьей группе особо ответственных отливок, подвергающихся ударным и знакопеременным воздействиям, относятся штевни, кронштейны гребных валов, баллеры и секторы рулей. Их контроль осуществляется теми же испытаниями, какими испытывают детали второй группы сложности, с добавлением испытания на ударную вязкость при нормальной температуре. Показатель ударной вязкости включен в число сдаточных характеристик.

Если отливки третьей группы сложности входят в литосварную конструкцию или привариваются к корпусу судна, то ударная вязкость испытывается и фиксируется при температуре -40°С. Такие отливки отнесены отраслевым стандартом ОСТ 5.9285-78 «Отливки сталь-

ные. Классификация и технические требования» к специально созданной группе сложности – четвертой.

По точности размеров отливки, полученные различными способами литья, классифицируют на 16 основных и 6 дополнительных (с индексом «Т») классов. Классам соответствуют предельные отклонения размеров и масс отливок с учетом их номинальных значений, а также припуски на механическую обработку. Допуски размеров и масс отливок возрастают по мере увеличения номера класса.

2.4 Технологичность литых деталей

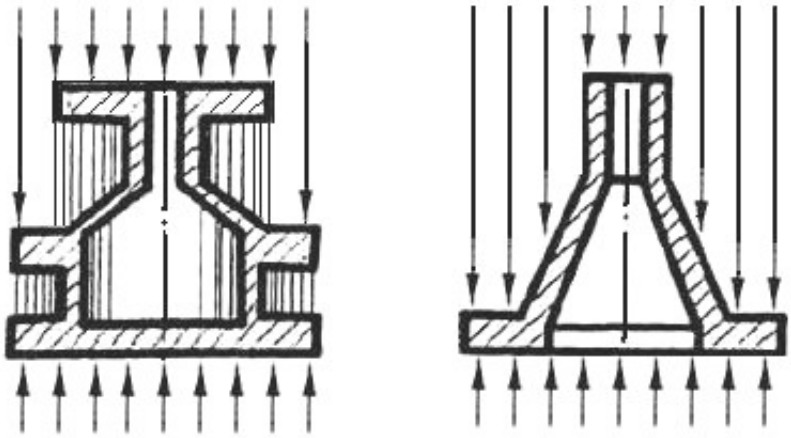
Под *технологичностью литой детали* понимают ее конструктивные особенности, при которых максимально обеспечиваются требования литейной технологии и технологии механической обработки с минимальными затратами. Конструкция отливки должна отвечать следующим требованиям:

обеспечить минимальное число поверхностей разъема модели и формы;

исключить отъемные части и сократить число стержней;

стенки отливки должны быть без резких переходов от тонких сечений к толстым.

Возможность использования одной плоскости разъема определяют по правилу световых теней: теневые участки при воображаемом освещении детали параллельными лучами в направлении, перпендикулярном к плоскости разъема формы, должны отсутствовать (рис. 10).



а *б*

Рис. 10. Конструкции отливки: *а* – нетехнологичная конструкция; *б* – технологичная

Наличие большого числа стержней приводит к увеличению трудоемкости изготовления отливки, появлению брака вследствие перекоса и искажения размеров внутренних полостей в результате неточностей при установке стержня.

2.5 Способы получения отливок

При выборе оптимального способа получения литых деталей проводят сравнительный анализ технологических процессов литья. В качестве критериев сравнительного анализа способов литья принимают технологические возможности способов (масса и габаритные размеры отливок, сложность и требования, предъявляемые к ним, масштаб производства и др.), литейные свойства сплавов, возможности способов литья в обеспечении равномерной мелкозернистой структуры, более высоких механических свойств и пр.

Наиболее распространенными способами литья являются литье *в песчано-глинистые разовые формы* и *специальные способы литья* (по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, в металлические формы, под давлением и центробежное литье). Области применения этих способов определяются типом производства (единичное, серийное, массовое), массой отливок (мелкие – до 100, средние – до 1000, крупные – более 1000 кг), точностью и чистотой поверхности, литейными свойствами сплавов и экономической целесообразностью.

Так, например, при выборе способа литья необходимо учитывать литейные свойства сплавов. Если сплав обладает пониженной жидкотекучестью, то нежелательно применять литье в металлические кокили. В этом случае целесообразно использовать литье под давлением, литье по выплавляемым моделям и другие способы, повышающие жидкотекучесть сплавов. Если для изготовления отливок используются сплавы с высокой усадкой, то нежелательно применять литье в кокиль и под давлением, так как из-за низкой податливости форм возможно образование трещин в отливках. Сложные по конфигурации отливки получают литьем под давлением, по выплавляемым моделям или в песчаных формах. Литьем в кокиль получают отливки с простой наружной конфигурацией, а центробежным литьем изготавливают, как правило, отливки типа тел вращения. Наиболее тонкостенные отливки получают литьем по выплавляемым моделям и литьем под давлением, при литье в кокиль стенки отливки должны быть значительно толще, чем при литье в песчаные формы.

При выборе способа получения заготовки оценивают все преимущества и недостатки каждого рассматриваемого сопоставляемого варианта (табл. 23).

2.5.1 Литье в песчано-глинистые формы

Литье в песчано-глинистые разовые формы является древнейшим способом литья. Этот способ литья экономически целесообразен при любом характере производства, для деталей любой массы, конфигурации, габаритов, для получения отливок практически из всех литейных сплавов. В разовых песчано-глинистых формах производят примерно 80 % всего объема выпуска отливок.

Суть этого способа литья заключается в том, что по модели изготовляют из формовочной смеси литейную форму, в дальнейшем заполняемую металлом. Литейная форма при извлечении отливки каждый раз разрушается.

Для изготовления песчано-глинистых форм используют *формовочные* и *стрежневые смеси*, содержащие песок и связующие (иногда со специальными добавками). Основа каждой смеси – песок. Наиболее распространены кварцевые пески, состоящие из зерен кристаллического кремнезема SiO_2, обладающие достаточно высокой огнеупорностью. Кварцевый песок играет роль наполнителя, в качестве связующего материала применяют глину, которая улуч-

шает огнеупорность, прочность и пластичность смеси, но ухудшает ее газопроницаемость и податливость. Поэтому в объеме смеси не должно быть более 8-12 % глины.

Крупнозернистый кварцевый песок обеспечивает высокую газопроницаемость, но дает шероховатую поверхность отливки и повышает пригар, так как жидкий металл заходит в поры между зернами и охватывает их. Мелкий песок обеспечивает гладкую поверхность отливки, но резко снижает газопроницаемость смеси. Поэтому при производстве крупных отливок, где требуется отвод большого количества выделяющихся газов, применяют крупнозернистый песок, а при получении мелких отливок, для которых чистота поверхности является главным требованием, – мелкозернистый песок.

Таблица 23

Области применения и краткая характеристика способов литья

Способ литья	Область применения	Характеристика
В песчаные формы	От опытного до крупносерийного производства отливок массой от 0,2 кг до десятков тонн	Универсальный способ литья деталей практически из любых сплавов. Большой расход формовочных материалов, необходимость в больших производственных площадях и высококвалифицированных рабочих
Под давлением	В массовом и крупносерийном производстве сложных по конфигурации отливок массой до 50 кг	Высокопроизводительный способ, хорошо автоматизируется и механизируется. Отливки изготовляют из цветных сплавов и стали очень точными, с высоким качеством поверхности. Большая трудоемкость при изготовлении пресс-форм
В кокиль	В массовом и крупносерийном производстве разнообразных несложных – по конфигурации отливок массой до 5 т	Способ литья деталей из чугуна, стали и цветных сплавов. Отливки имеют мелкозернистую структуру, повышенные механические характеристики, минимальные припуски на механическую обработку
В оболочковые формы	В крупносерийном и массовом производстве отливок массой до 100 кг	Позволяет получать тонкостенные отливки (толщина стенки 6-8 мм) практически из любых сплавов. Очень хорошо автоматизируется и механизируется. Отливки используют практически без механической обработки
По выплавляемым моделям	В крупносерийном и поточном массовом производстве отливок массой 0,02-100 кг, а также в мел-	Позволяет получать отливки из любых сплавов, в том числе из жаропрочных, с минимальными припусками на механическую обработку (0,2-

	косерийном производстве, когда отливку другим способом получить невозможно	0,7 мм), дает возможность снизить трудоемкость изготовления деталей, уменьшить отходы дорогостоящих и дефицитных металлов, а также объединить отдельные детали в целые неразъемные литые узлы

Формовочные смеси делятся на *единые*, *облицовочные* и *наполнительные*. Единые смеси применяют при изготовлении мелких отливок в массовом производстве, а в единичном и мелкосерийном производстве для изготовления крупных форм – облицовочные и наполнительные. Из первых оформляют рабочий (облицовочный) слой форм толщиной 15-30 мм, вторыми заполняют остальной объем опок. Наполнительные смеси, состоящие в основном из оборотных смесей (смесей бывших в употреблении – *горелая земля*), значительно дешевле облицовочных, состоящих из свежих материалов.

Для достижения определенных технологических свойств в формовочные и стержневые смеси вводят *специальные добавки*. Так, например, для повышения противопригарных свойств в смеси для чугунного литья вводят добавки каменноугольной пыли, измельченного кокса и древесного угля, мазута.

Требования, предъявляемые к формовочным и стержневым смесям, определяются условиями их работы. Смеси должны обладать *огнеупорностью*, *пластичностью*, *прочностью*, *газопроницаемостью*, *податливостью* и *непригораемостью*.

Огнеупорность – способность смеси, не размягчаясь, выдерживать высокие температуры заливаемого в форму жидкого металла. От огнеупорности зависят чистота поверхности отливок, отсутствие пригара.

Пластичность – способность смеси давать четкий отпечаток модели (при изготовлении формы) или стержневого ящика (при изготовлении стержня).

Прочность – способность уплотненной смеси не разрушаться при транспортировке и заливке готовой формы металлом.

Газопроницаемость – способность формовочной и особенно стержневой смеси пропускать газы, выделяющиеся из смеси и охлаждающегося металла. При недостаточной газопроницаемости возможно образование в отливке газовых раковин.

Податливость – способность смеси не препятствовать линейной усадке закристаллизовавшегося металла отливки.

Непригораемость обеспечивают вводом в смесь противопригарных добавок, таких как каменноугольная пыль, тальк, графит, которые напыляют на поверхность форм для чугунных отливок. Из маршалита, магнезита, циркона изготовляют противопригарные краски, которыми покрывают стержни и полости форм для стальных отливок.

Стержни работают в более тяжелых условиях, чем формы, так как они окружены жидким металлом со всех сторон (за исключением знаковых частей). Поэтому стержневая смесь должна обладать более высокой прочностью, газопроницаемостью и податливостью. Для тонких и сложных стержней в качестве связующей добавки к стержневой смеси используют олифу, жидкое стекло, смолы, декстрин, патоку и др. Для повышения газопроницаемости и по-

датливости в стержневую смесь вводят древесные опилки или торф (2-3 %), которые в процессе сушки стержня выгорают.

Приготовление формовочных и стержневых смесей осуществляется, как правило, в *смешивающих бегунах,* где зерна песка подвергаются значительному механическому давлению. Поэтому формовочные пески должны обладать достаточной твердостью. Твердость минералов оценивается по шкале Мооса, по которой наименьшей твердостью, равной 1, обладают тальк и графит, наибольшей – алмаз (10). Для использования в качестве формовочных пригодны пески, твердость которых по шкале Мооса составляет более 5 единиц.

Изготовление форм. Литейные формы изготовляют вручную (ручная формовка) и на машинах (машинная формовка) с помощью *модельных комплектов*, которые обеспечивают получение отливок нужных конфигурации и размеров, а также соблюдение технологического процесса. В модельный комплект входят *модель* отливки, *стержневой ящик* – один или несколько (если отливка имеет полости или отверстия), *модели литниковой системы*, *подмодельная доска* (при ручной формовке) или *модельная плита* (при машинной формовке).

Модельный комплект должен отвечать форме и размерам отливки с учетом линейной усадки металла и припусков на механическую обработку. Модельный комплект для ручной формовки изготавливают из дерева, для машинной формовки – из металлов.

Модели сложных отливок делают разъемными (например, из двух полуформ), что позволяет удалять их из формы без ее разрушения. Модель отличается от отливки увеличенными на величину усадки сплава размерами, наличием формовочных уклонов, облегчающих извлечение модели из формы, наличием плоскости разъема и знаковых частей, предназначенных для установки стержня, образующего внутреннюю полость (отверстие) в отливке.

Стержень изготавливают в стержневых ящиках из смеси, например кварцевого песка, отдельные зерна которого скрепляются при сушке или химическом отверждении специальными крепителями (связующими). Стержни при заливке формы со всех сторон окружены жидким металлом, поэтому они должны обладать высокой газопроницаемостью, а также прочностью, податливостью, выбиваемостью, что обеспечивается выбором состава соответствующей стержневой смеси и конструкцией стержня. Для обеспечения устойчивого положения в форме и точной конфигурации отливки стержни должны иметь достаточное число знаков (выступов). В условиях единичного и мелкосерийного производства отливок стержни изготовляют ручным способом по стержневым ящикам и шаблонам. В массовом и крупносерийном производстве стержни изготовляют на различных машинах: встряхивающих, прессовых, пескометных, пескодувных и др.

Технология формовки. После разработки модельного комплекта выбирают технологию формовки и изготовления стержней. Различают два вида формовки – ***по-сырому*** и ***по-сухому***. При формовке по-сырому уплотненную форму не подвергают дополнительной сушке и отверждению; при формовке по-сухому форма или высушивается, или химически отверждается. Формовку по-сырому применяют в производстве мелких чугунных и стальных отливок массой до 100 кг и различных отливок из цветных сплавов. Для изготовления форм используют единые смеси. Для более крупных стальных и чугунных отливок, а также для отливок ответственного назначения (например, арматурное литье) независимо от массы используют формовку по-сухому. В этом случае применяются формы из облицовочной и напол-

нительной смеси. Отверждение формы осуществляют путем проведения тепловой сушки в специальных камерных сушилках, газовыми и инфракрасными нагревателями, различными устройствами для продувки формы газами (в основном, углекислым газом, иногда смесью CO_2 и воздуха, реже теплым воздухом), а также с помощью специальных отвердителей, вводимых в смесь при ее приготовлении.

Сушку литейных форм и стержней проводят с целью увеличения газопроницаемости, прочности и уменьшения газотворной способности. Продолжительность сушки зависит от температуры, толщины стержней и форм, условий передачи тепла в сушильной камере и колеблется от нескольких минут до нескольких часов.

Ручная формовка может выполняться *в опоках*, *без опок*, в *почве* или *в кессонах*, *быстротвердеющих смесях*.

Наиболее широко распространена *формовка в двух опоках* по разъемным моделям (рис. 11). При этом способе формовки отливки получаются более точными, чем при других способах, так как смещению опок препятствуют центрирующие втулки со штырями. Формовка в опоках с ручным уплотнением, чаще всего используемая при изготовлении единичных изделий, осуществляется при помощи пневматических трамбовок.

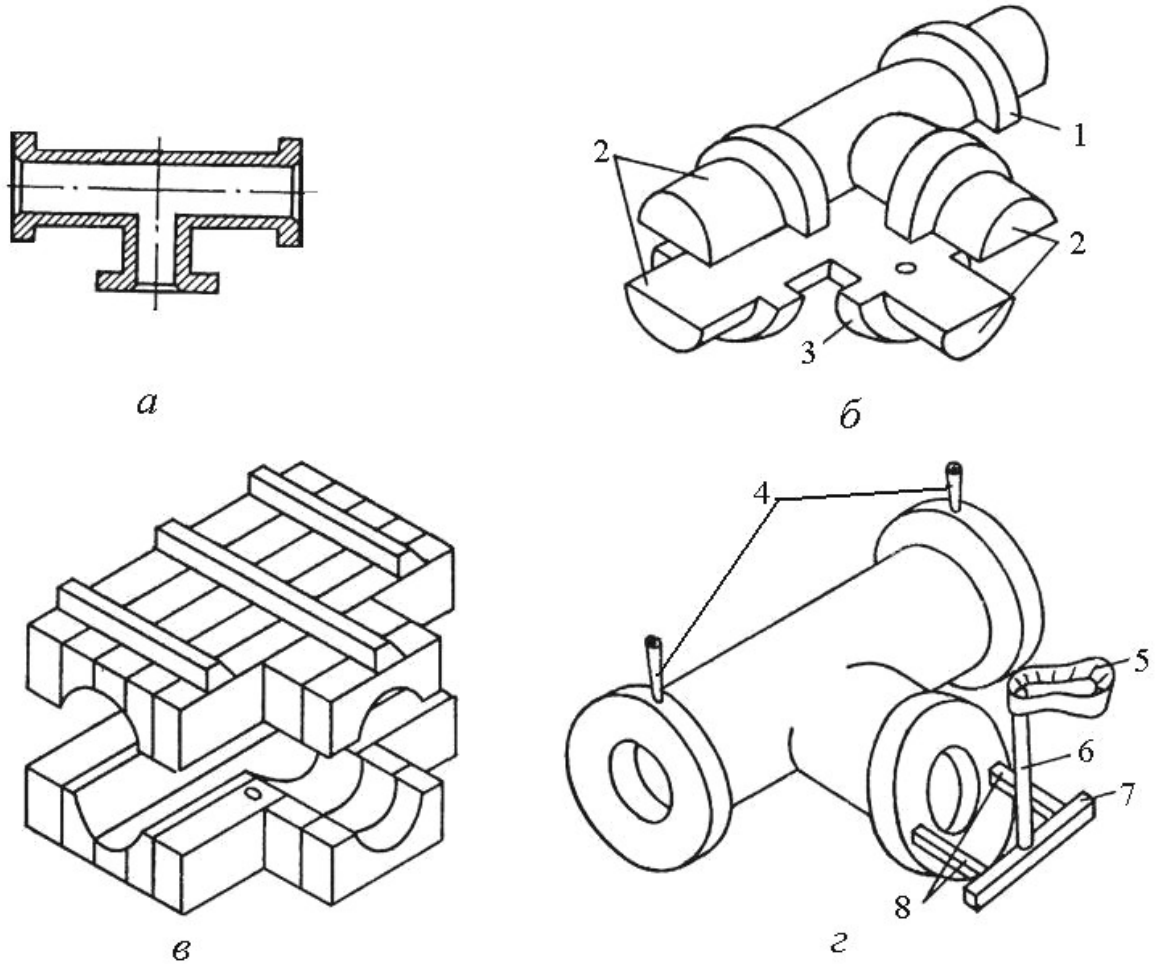


Рис. 11. Формовка в двух опоках: *а* – чертеж отливки; *б* – модель; *в* – стержневой ящик; *г* – отливка с литниковой системой: 1, 3 – верхняя и нижняя половины модели; 2 – стержневые знаки; 4 – выпоры; 5 – литниковая чаша; 6 – стояк; 7 – шлакоуловитель; 8 – питатели

Безопочную формовку применяют в серийном и массовом производстве для отливок массой до 5-7 кг. Ручное уплотнение при таком способе практически не применяется. Формы уплотняются либо на машинах с последующей ручной сборкой на плацу или конвейере, либо на формовочных автоматах.

Процесс *формовки в почве* с применением газоотводных формовочных постелей осуществляют в ямах, подготовленных в земляном полу цеха или *в кессонах* – глубоких ямах в полу цеха, выложенных кирпичом. В зависимости от массы и высоты отливок различают мягкие и твердые постели. Мягкие (земляные) постели применяют для формовки плоских отливок небольшой высоты, твердые (коксовые) постели – для получения крупных отливок. Формовку в почве или специальных прямоугольной формы кессонах применяют, преимущественно, при производстве крупных отливок. При таком способе формовки преобладает ручное уплотнение, хотя возможно и применение пескометов.

К недостаткам формовки в почве следует отнести большую трудоемкость рытья ям и приготовления газоотводной постели, значительный объем ручных формовочных работ, необходимость в рабочих – формовщиках высокой квалификации, незначительный съем отливок с 1 $м^2$ формовочной площади. Однако этот способ прост и не требует специальной оснастки, а поэтому незаменим при производстве крупных отливок.

Разновидностью этого способа формовки является *сборка формы в специальных жакетах* из заранее изготовленных стержней, оформляющих после сборки наружную поверхность формы. Для этой цели могут быть использованы также кессоны. Однако чаще всего применяют специализированные раздвижные, устанавливаемые для конкретной детали на координационных плитах металлические стенки, собранные в виде прямоугольного жакета. Весьма перспективен этот способ формовки при изготовлении стержней из смесей, не требующих уплотнения, например из жидких (наливных) самоотвердеющих смесей. Как правило, формовка методом сборки в жакетах применяется для отливок массой 5-15 т при мелкосерийном производстве.

Металлические литейные формы, облицованные формовочной смесью (нанесение и уплотнение смеси осуществляется преимущественно вручную), используют обычно при изготовлении отливок простой конфигурации, например, лопастей гидротурбин. В связи с высокой стоимостью эти формы применяют только в случае производства крупных партий отливок. Преимущество применения металлических форм особенно очевидно при изготовлении отливок из высоколегированных сталей.

Формовку по шаблону используют очень редко, чаще всего для разовых отливок, имеющих форму тел вращения (в основном, цилиндрическую), однако этот метод иногда применяется при серийном изготовлении центровых стержней для форм крупных судовых двигателей.

Формовку в твердеющих смесях на жидком стекле применяют для получения разнообразных отливок массой до 40 т из чугуна, стали и цветных сплавов. Время химического твердения крупных форм 0,5-1,3 ч в зависимости от их размера и конфигурации. Технологический процесс формовки складывается из следующих операций: установки модели, протирки поверхности модели и плиты керосином и графитом, нанесения на модель облицовочной бы-

стротвердеющей смеси ровным слоем толщиной 60-70 мм, засыпки в опоку наполнительной смеси и ее уплотнения, извлечения модели из формы и отделки формы, продувки формы углекислым газом около 8-10 мин, установки стержней и сборки формы.

Машинную формовку применяют главным образом при серийном и массовом производстве литья. Она облегчает труд формовщика и не требует его высокой квалификации; повышает производительность труда и точность отливок, что экономит 10-15 % металла в результате уменьшения припусков на обработку; уменьшает вероятность появления брака; обеспечивает получение взаимозаменяемых деталей. При машинной формовке механизируют наполнение опок формовочной смесью и ее уплотнение, удаление моделей из формы, сборку и транспортирование форм к месту заливки.

Для наполнения опок формовочная смесь подается транспортером в бункер, расположенный над формовочной машиной, а дозатор выдает порцию смеси в опоку, где она с помощью машины уплотняется.

Сборка и заливка форм. Выбивка и очистка отливок

Сборка форм является ответственным процессом, требующим особого внимания и аккуратности. Она включает подготовку полуформ и стержней, установку стержней (обычно в нижнюю полуформу) и контроль их положения, накрытие верхней полуформой, установку выпорных и литниковых чаш, скрепление полуформ или их нагружение. Перед сборкой полость формы продувают сжатым воздухом, для того чтобы удалить из нее частицы смеси или инородные тела. Положение каждого стержня относительно формы и других стержней тщательно проверяют.

В отдельных случаях для большей устойчивости при заливке формы металлом стержни устанавливают на *жеребейки* – жесткие металлические опоры. Высота жеребеек соответствует толщине тела отливки. Для литья чугуна или стали жеребейки изготовляют из белой жести, низкоуглеродистой стали или чугуна. Во время заливки формы они расплавляются, не нарушая однородности металла.

Температуру заливки формы назначают для каждого данного сплава в зависимости от толщины стенок отливки и материала литейной формы. Она зависит также от конкретных условий каждого цеха – размера ковша, количества форм, заливаемых из одного ковша и т.п. Для заливки форм применяют разливочные ковши (ручные и крановые), из которых в форму поступают нижние слои металла, свободные от шлака, и неметаллических включений. Металл в форму должен поступать плавно с минимальным напором.

При заливке формы металлом ее стенки и особенно стержни быстро нагреваются и выделяют большое количество газов. Для отвода газов из внутренних полостей формы на поверхность служат газоотводные вентиляционные каналы.

При определении продолжительности охлаждения отливок в литейных формах выбирают температуру охлаждения, которая характерна для каждого данного сплава и ниже которой отливку можно охлаждать на воздухе без опасения получить холодные трещины, коробление или другие дефекты, вызванные изменением условий охлаждения (для отливок из углеродистой стали – около 600°С). При этой температуре обычно начинают выбивку отливок из форм. Однако существенные коррективы могут быть внесены в зависимости от конкретных особенностей детали.

Продолжительность охлаждения крупных и сложных по форме отливок может достигать нескольких суток, а температура выбивки 500°С. Процесс выбивки заключается в том, что форму разрушают на вибрационных решетках и извлекают из нее отливку. Смесь проваливается сквозь решетки и попадает на транспортер, идущий в формоприготовительное отделение. Отливки поступают на обрубку и очистку, а опоки – на формовочный участок.

Удаление стержней является трудоемкой операцией и поэтому осуществляется на вибрационных или гидравлических установках (струей воды под высоким давлением), а также электрогидравлическим методом.

Прибыли и литники обрезают тепловой резкой, а у малопластичных металлов отбивают. Отливки очищают от пригара и окалины в очистных барабанах и в дробеструйных (дробеметных) камерах.

Несмотря на универсальность и относительную дешевизну, способ литья в песчаные формы связан с большим грузопотоком вспомогательных материалов и повышенной трудоемкостью. При литье в песчано-глинистые формы 15-25 % массы отливки превращается в стружку при механической обработке, переход к специальным способам литья дает возможность снизить припуски на механическую обработку и количество стружки до 5-7 %.

Специальные способы литья позволяют также получать отливки повышенной точности и с малой шероховатостью поверхности, преимущество специальных видов литья состоит и в уменьшении массы литниковой системы и резком снижении расхода формовочных материалов. Технологический процесс изготовления отливок этими способами легко поддается механизации и автоматизации, что повышает производительность труда, улучшает качество отливок, снижает их себестоимость.

2.5.2 Специальные методы литья

Существует около 50 методов специального литья, применяемых в различных отраслях народного хозяйства и отличающихся от традиционного литья в песчано-глинистые формы конструкцией литейной формы, материалом, из которого она выполнена, использованием внешних воздействий при заполнении форм и затвердевании отливок и другие. Одни из них основаны на применении постоянных форм (*литье в кокиль*, *под давлением*), другие – разовых, причем форма может представлять собой одно- или многослойную оболочку (*литье в оболочковые формы*, *литье по выплавляемым моделям*). Заполнение форм и затвердевание отливок в них происходит под действием сил гравитации, центробежных сил, избыточного давления, создаваемого воздухом (газом) или поршнем. Дальнейшее развитие специальных способов литья базируется на использовании теплосиловых воздействий: давления, электромагнитных полей, вибрации, ультразвука и др.

Из существующих специальных способов литья кокильное литье и литье по выплавляемым моделям наиболее распространены в судостроительной промышленности.

Литье в металлические формы

Литье в металлические формы **(кокильное литье)** – это процесс получения отливок путем заливки расплавленного металла в металлические формы (*кокили*). Литье в кокиль

предназначено для получения отливок из чугуна, стали, алюминиевых, магниевых, цинковых, медных и других сплавов.

Применение этого способа литья повышает производительность труда (в 1,5-6 раз) и точность исполнения отливки. При этом методе литейного производства снижаются количество брака и себестоимость продукции. Отливки, затвердевшие в металлической форме, имеют более плотную мелкозернистую структуру и более высокие механические свойства. Значительно улучшаются санитарно-гигиенические условия работы.

Недостатками кокильного литья являются невысокая стойкость форм, высокая стоимость их изготовления при отливке чугунных и стальных деталей, а также неоднородность структуры металла по сечению отливки.

Кокили представляют собой закрытые металлические литейные формы с внутренней полостью, соответствующей конфигурации изделия, и литниковой (заливочной) системой, которые выполняются путем механической обработки в чугунном, бронзовом, алюминиевом или стальном блоке. Для формования внутренних полостей в кокиль закладываются стержни. В зависимости от расположения поверхности разъема кокили бывают: неразъемные, с вертикальной плоскостью разъема, с горизонтальной плоскостью разъема, со сложной поверхностью разъема. Кокиль обычно состоит из двух полуформ, плиты и вставок. Полуформы взаимно центрируются штырями и перед заливкой их соединяют замками. Размеры рабочей полости кокиля больше размеров отливки на величину усадки сплава.

Полости и отверстия в отливке могут быть выполнены металлическими или песчаными стержнями, извлекаемыми из отливки после ее затвердевания и охлаждения до заданной температуры. Расплав заливают в кокиль через литниковую систему, выполненную в его стенках, питание массивных узлов отливки осуществляется из прибылей (питающих выпоров). При заполнении кокиля расплавом воздух и газы удаляются из его рабочей полости через вентиляционные выпоры, пробки и каналы, образующие вентиляционную систему кокиля. Основные элементы кокиля обычно изготовляют из чугуна или стали.

В общем случае технологический процесс изготовления отливки в кокиль состоит из следующих основных операций:

нагрев до 100-150°С рабочей поверхность кокиля и нанесение на поверхность кокиля из пульверизатора слоя защитного покрытия (рис. 12, *а*);

установка песчаного стержня с помощью манипулятора (рис. 12, *б*);

соединение и скрепление частей кокиля, заливка расплава (рис. 12, *в*);

затвердевание отливки (рис. 12, *г*);

раскрытие кокиля после охлаждения отливки до температуры выбивки и удаление металлического стержня (рис. 12, *д*);

удаление отливки из кокиля с помощью специального приспособления (рис. 12, *е*).

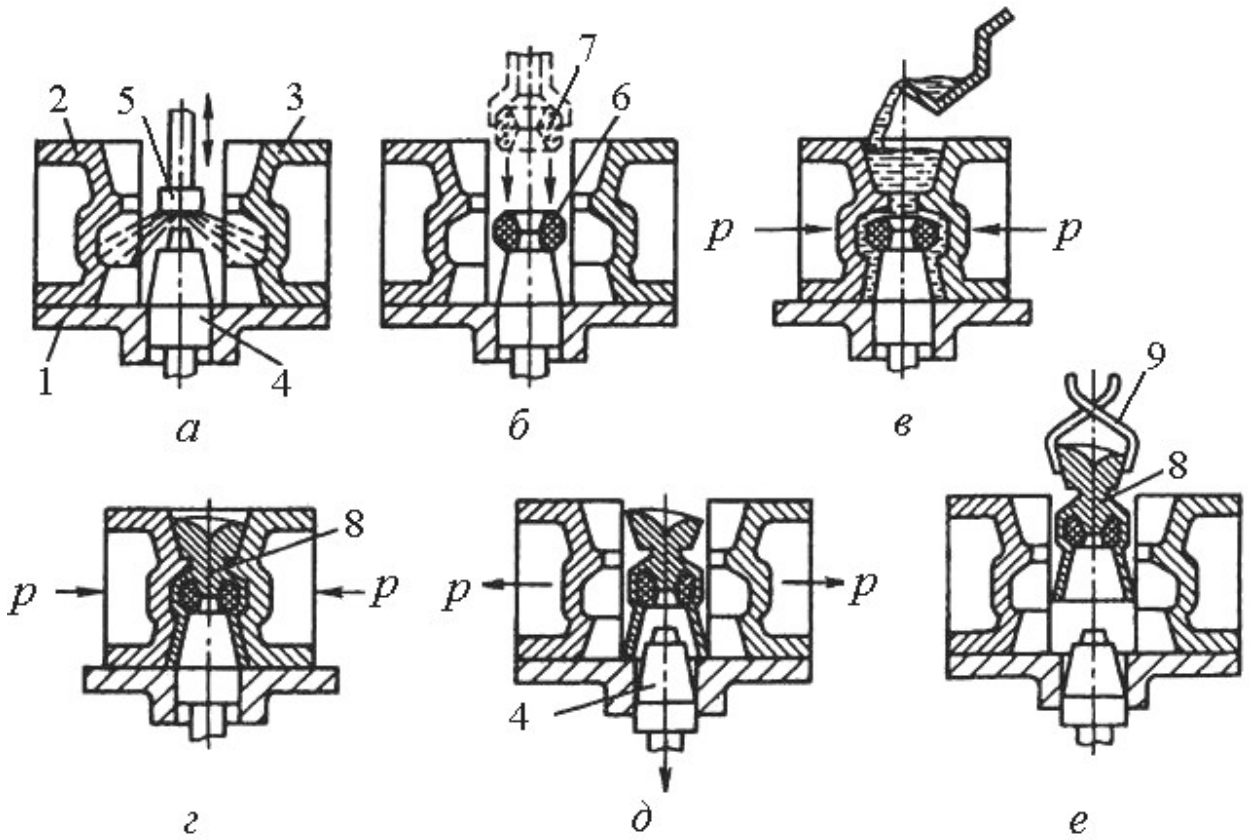


Рис. 12. Последовательность операций изготовления отливок в кокиль: 1 – поддон; 2, 3 – симметричные полуформы; 4 – металлический стержень; 5 – пульверизатор; 6 – песчаный стержень; 7 – манипулятор; 8 – отливка; 9 – спецприспособление

Перед заливкой расплава новый кокиль подготавливают к работе: поверхность рабочей полости и разъем тщательно очищают от следов загрязнений, ржавчины и масла. Затем на поверхность рабочей полости и металлических стержней наносят слой огнеупорного покрытия облицовки и краски. Состав облицовок и красок зависит в основном от заливаемого сплава, а их толщина – от требуемой скорости охлаждения отливки: чем толще слой огнеупорного покрытия, тем медленнее охлаждается отливка. Вместе с тем слой огнеупорного покрытия предохраняет рабочую поверхность формы от резкого повышения ее температуры при заливке, расплавлении и схватывании с металлом отливки. Таким образом, облицовки и краски выполняют две функции: защищают поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой и позволяют регулировать скорость охлаждения отливки, а значит, и процессы ее затвердевания, влияющие на свойства металла отливки.

После нанесения огнеупорного покрытия кокиль нагревают до рабочей температуры, зависящий в основном от состава заливаемого сплава, толщины стенки отливки, ее размеров, требуемых свойств. Обычно температура нагрева кокиля перед заливкой 200-350°С. Затем в кокиль при необходимости устанавливают песчаные или керамические стержни; половины кокиля соединяют и скрепляют специальными зажимами, после чего заливают расплав в кокиль.

После охлаждения отливки до заданной температуры кокиль раскрывают, окончательно извлекают металлический стержень и удаляют отливку из кокиля. Из отливки выбивают песчаный стержень, обрезают литники, прибыли, выпоры, контролируют качество отливки.

Этот способ литья применяют, как правило, в серийных и массовых производствах. Литье в кокиль является материалосберегающим и малоотходным технологическим процессом, улучшающим условия труда в литейных цехах и уменьшающим вредное воздействие на окружающую среду.

Литье по выплавляемым моделям

Сущность литья по выплавляемым моделям заключается в получении отливок заливкой расплавленного металла в разовую тонкостенную неразъемную литейную форму, которую изготавливают из огнеупорной суспензии по разовым моделям.

Применение литья по выплавляемым моделям для получения деталей, изготовлявшихся ранее путем сложной механической обработки, снижает трудоемкость обработки в два раза и более, уменьшает расход металла и сокращает стоимость готовых деталей.

При этом способе литья модели деталей и литниковые системы изготовляют из легкоплавких составов в пресс-формах. Модели соединяют в блок путем припайки их к литниковой системе, и на них слоями наносят суспензию из связующего раствора и пылевидного огнеупорного материала. Слои суспензии присыпают песком и просушивают. Затем модели выплавляют (вытапливают) и получают тонкостенную оболочку, которую помещают в опоку, засыпают снаружи песком, прокаливают и заливают металлом. После охлаждения отливки ее выбивают из формы, отрезают элементы литниковой системы и подвергают термической обработке и очистке.

Технологическая схема получения отливок показана на рис. 13.

Технологический процесс изготовления отливок литьем по выплавляемым моделям состоит из следующих основных операций.

Изготовление моделей. Модельный состав, состоящий из двух или более легкоплавких компонентов: парафина, стеарина, жирных кислот, церезина и др., в пастообразном состоянии запрессовывают в пресс-формы (рис. 13, *а*). В качестве материала пресс-форм в зависимости от вида производства используют гипс, пластмассы, легкоплавкие металлы, сплавы, сталь или чугун. После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель (рис. 13, *б*) выталкивается в ванну с холодной водой.

Сборка модельных блоков. Для этого модели собирают в модельные блоки (рис. 13, *в*) с общей литниковой системой. В один блок объединяют от 2 до 100 моделей. Соединяют модели в кондукторе, механически скрепляя или склеивая их. Одновременно ведется отливка литниковой системы. Для сборки моделей в блоки в кондукторе выставляют металлические стояки из алюминия, наращивают на них слой модельного состава толщиной 2-5 мм и крепят к нему модели. Этот прием ведет к повышению прочности блока, сокращению расхода состава, обеспечению удобства транспортирования, хранения и просушивания блоков при нанесении обмазки.

Покрытие моделей огнеупорной оболочкой. Модельный блок погружают в керамическую суспензию, налитую в емкость (рис. 13, *г*), с последующей обсыпкой кварцевым песком в специальной установке (рис. 13, *д*). Используемая керамическая суспензия состоит из огнеупорных материалов (пылевидный кварц, тонкоизмельченный шамот, электрокорунд и другие материалы) и связующего (гидролизованный раствор этилсиликата).

Затем модельные блоки сушат 2-2,5 ч на воздухе или 20-40 мин в среде аммиака. На модельный блок наносят 4-6 слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя.

Выплавление модельного состава из форм производят в горячей воде (80-90°С) (рис. 13, *е*). При выдержке в горячей воде в течение нескольких минут модельный состав расплавляется, всплывает на поверхность ванны, откуда периодически удаляется для нового использования.

Подготовка литейных форм к заливке. После извлечения из ванны оболочки промывают водой и сушат в шкафах (1,5-2 ч при 200°С). Затем оболочки ставят вертикально в жаростойкой опоке, вокруг засыпают сухой кварцевый песок и уплотняют его, после чего форму направляют в электрическую печь (рис. 13, *ж*), в которой ее прокаливают (не менее 2 ч при 900-950°С). В печи частички связующего спекаются с частичками огнеупорного материала, влага испаряется и остатки модельного состава выгорают.

Заливка расплавленного металла из ковша производится сразу же после прокалки в горячую литейную форму (рис. 13, *з*).

Охлаждение отливок.

После охлаждения отливки форму разрушают. Отливки отделяют от литников и для окончательной очистки направляют на химическую очистку, затем промывают проточной водой, сушат, подвергают термической обработке и контролю.

Участки литья по выплавляемым моделям имеются на многих судостроительных и машиностроительных заводах. На них изготовляют сложные по конфигурации стальные отливки, получение которых другими способами или с применением механической обработки невозможно или привело бы к значительному усложнению технологического процесса и удорожанию продукции. К таким отливкам относятся в основном различные мелкие детали: турбинные лопатки, крыльчатки, решетки, распылители, угольники, кронштейны, рукоятки, ключи и другие детали высокой точности.

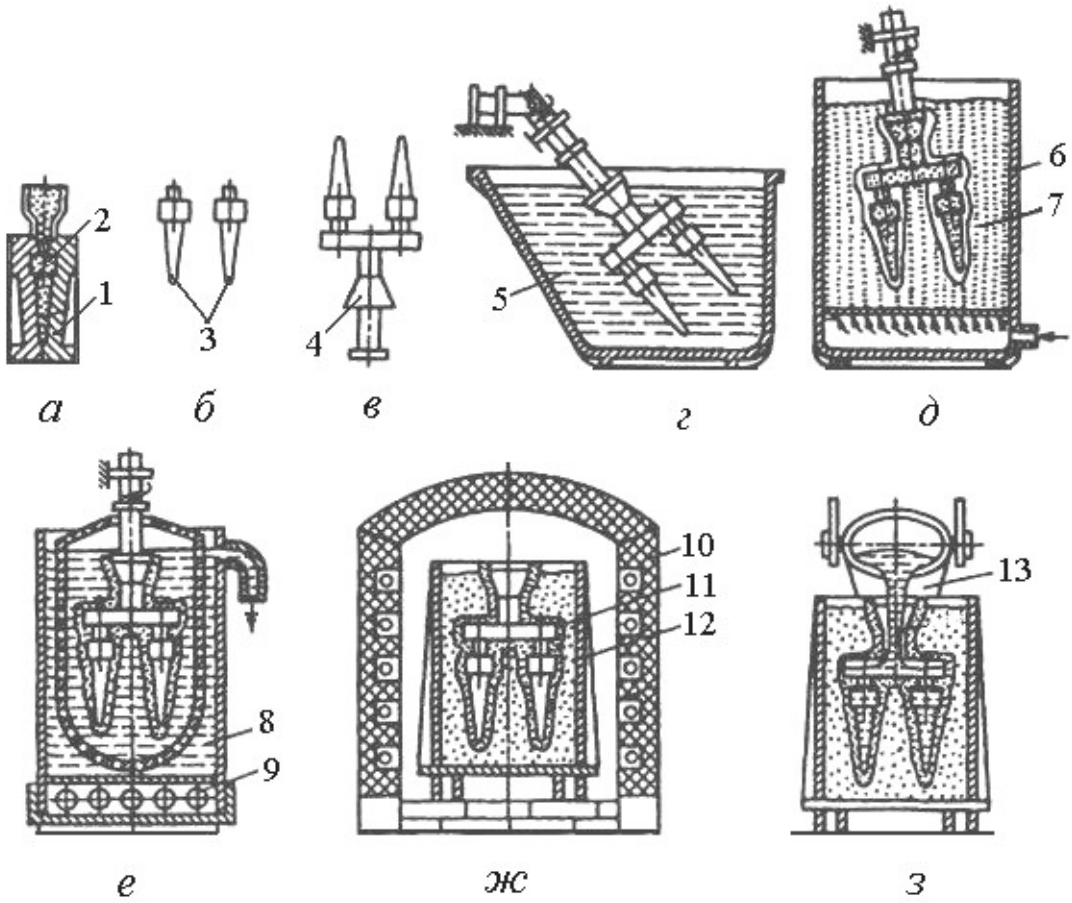


Рис. 13. Последовательность операций процесса литья по выплавляемым моделям:
1 – пресс-форма; 2 – модельный состав; 3 – модель; 4 – модельный блок; 5 – емкость с керамической суспензией; 6 – специальная установка для обсыпки; 7 – кварцевый песок; 8 – бак с водой; 9 – устройство для нагрева воды; 10 – электрическая печь; 11 – оболочки; 12 – жаростойкая опока; 13 – ковш с расплавленным металлом

Литье в оболочковые формы

Сущность литья в оболочковые формы заключается в изготовлении отливок путем заливки расплавленного металла в разовую тонкостенную разъемную литейную форму, изготовленную из песчано-смоляной смеси.

Оболочковые формы изготавливают следующим образом:

металлическую модельную плиту, нагретую до температуры 250-300°С, закрепляют на опрокидывающем бункере (рис. 14, *а*);

бункер с формовочной смесью поворачивают на 180° (рис. 14, *б*). Формовочная смесь, состоящая из мелкозернистого кварцевого песка (93-96 %) и фенолоформальдегидной смолы (4-7 %), насыпается на модельную плиту и выдерживается 10-30 с. Расплавление смолы приводит к склеиванию песчинок и образованию песчано-смоляной оболочки толщиной 5-20 мм в зависимости от времени выдержки;

бункер возвращают в исходное положение (рис. 14, *в*), излишки формовочной смеси ссыпаются на дно бункера, а модельная плита с полутвердой оболочкой снимается с бункера

и нагревается в печи при температуре 300-350°С в течение 1-1,5 мин, при этом термореактивная смола переходит в твердое необратимое состояние;

твердую оболочку снимают с модели специальными толкателями (рис. 14, *г*). Аналогично изготовливают вторую полуформу;

готовые оболочковые полуформы склеивают быстротвердеющим клеем на специальных прессах или скрепляют скобами. Оболочковые формы и стержни изготовляют на одно- и многопозиционных автоматических машинах и автоматических линиях;

заливку форм производят в вертикальном или горизонтальном положении. При заливке в вертикальном положении литейные формы помещают в опоки-контейнеры и засыпают кварцевым песком или металлической дробью (рис. 14, *д*) для предохранения от преждевременного разрушения оболочки при заливке расплава.

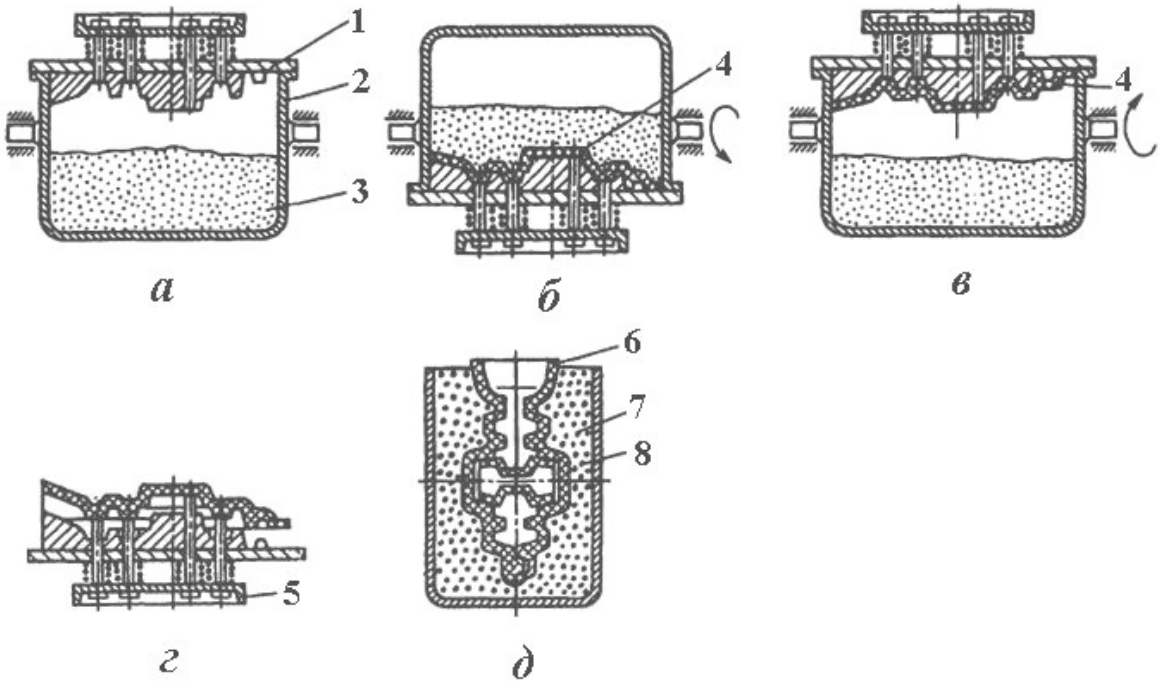


Рис. 14. Последовательность операций формовки при литье в оболочковые формы:
1 – модельная плита; 2 – бункер; 3 – формовочная смесь; 4 – песчано-смоляная оболочка;
5 – специальные толкатели; 6 – оболочковые формы; 7 – опоки-контейнеры;
8 – металлическая дробь

Выбивку отливок осуществляют на специальных выбивных или вибрационных установках. При очистке отливок удаляют заусенцы, зачищают на шлифовальных кругах места подвода питателей и затем их подвергают дробеструйной обработке.

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, так как формовочная смесь, обладая высокой подвижностью, дает возможность получать четкий отпечаток модели. Точность отпечатка не нарушается потому, что оболочка снимается с модели без расталкивания. Повышенная точность формы позволяет в 2 раза снизить припуски на механическую обработку отливок. Применяя мелкозернистый кварцевый песок для форм, можно снизить шероховатость поверхности отливок. Высокая прочность оболочек позволяет

изготовлять формы тонкостенными, что значительно сокращает расход формовочных материалов.

В оболочковых формах изготовляют отливки с толщиной стенки 3-15 мм и массой до 25 кг. Преимуществами способа являются: значительное повышение производительности по сравнению с изготовлением отливок литьем в песчаные формы, управление тепловым режимом охлаждения отливки и возможность механизировать процесс.

Литье в оболочковые формы является прогрессивным способом получения отливок с повышенной чистотой поверхности и точностью размеров. Литьем в оболочковые формы изготавливают ответственные детали, например ребристые цилиндры для мотоциклов, коленчатые валы для автомобилей, гильзы, звездочки, зубчатые колеса, детали компрессоров, тепловозов, судовых двигателей из чугуна, нелегированных сталей, цветных и специальных сплавов. Наиболее рационально применение литья в оболочковые формы при массовом и крупносерийном производствах. Минимальная серийность деталей, переводимых на литье в оболочковые формы, принимается не менее 200 отливок в год.

Недостатками литья в оболочковые формы являются снижение точности формы в разъеме при изготовлении тяжелых и крупногабаритных отливок и высокая стоимость оснастки, оборудования и материалов.

Литье под давлением

Сущность литья под давлением заключается в изготовлении отливок в металлических формах (*пресс-формах*) заполнением расплавом под действием внешних сил, превосходящих силы гравитации. Затвердевание отливки протекает под избыточным давлением. После охлаждения отливку извлекают из пресс-формы.

Значительное давление на расплав (100 МПа и более) обеспечивает высокую скорость движения потока расплава в пресс-форме (0,5-120 м/с). Форма заполняется за доли секунды, что позволяет получать отливки с толщиной стенки менее 1 мм. Высокая скорость впуска расплава в полость пресс-формы не позволяет газам полностью удалиться из полости пресс-формы. Они попадают в расплав, что приводит к образованию газовой пористости, снижению плотности и герметичности отливок и пластичности сплава.

Газовые поры, находящиеся под плотной литейной коркой, не позволяют выполнять термическую обработку отливок из цветных сплавов, так как при высоких температурах газы расширяются и поры увеличивают свой объем, образуя пузыри и вспучины на поверхности отливок. Для снижения пористости отливок полость пресс-формы и расплавленный металл вакуумируют.

Для изготовления отливок литьем под давлением применяются специальные машины литья под давлением с холодной (горизонтальной или вертикальной) и горячей камерами прессования.

На машинах с горизонтальной холодной камерой прессования (рис. 15) порцию расплавленного металла заливают в камеру прессования (рис. 15, *а*), из которой плунжером под давлением 40-100 МПа расплав подают в полость пресс-формы (рис. 15, *б*), состоящую из 2 частей (неподвижной и подвижной). Внутреннюю полость в отливке получают стержнем. По-

сле затвердевания отливки пресс-форма раскрывается (рис. 15, *в*), стержень извлекается, и отливка выталкивателями удаляется из рабочей полости пресс-формы.

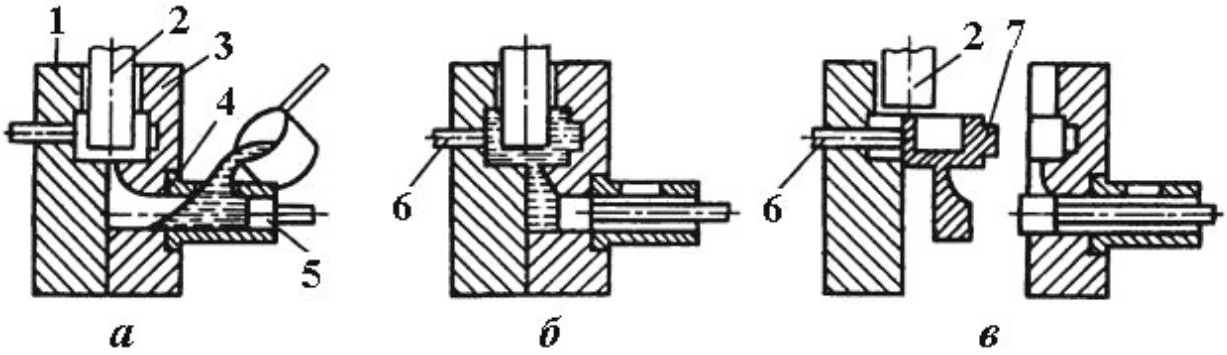


Рис. 15. Схема процесса изготовления отливок на машинах литья под давлением с горизонтальной холодной камерой прессования: 1 – подвижная полуформа; 2 – стержень; 3 – неподвижная полуформа; 4 – камера прессования; 5 – плунжер; 6 – выталкиватели; 7 – отливка

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

Современные машины для литья под давлением имеют полностью автоматизированный рабочий цикл с программным управлением, автоматизированы регулировка усилия смыкания пресс-форм, изменение скорости прессования, блокировка узлов при появлении неисправностей в машине.

На машинах с горячей камерой прессования (рис. 16) камера прессования расположена в обогреваемом тигле, в котором в течение рабочей смены находится расплавленный металл. При верхнем положении плунжера расплавленный металл через отверстие заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз отверстия перекрываются, сплав под давлением 10-30 МПа заполняет полость пресс-формы. После затвердевания отливки плунжер возвращается в исходное положение, остатки расплавленного металла из канала сливаются в камеру прессования, а отливка из пресс-формы удаляется выталкивателями.

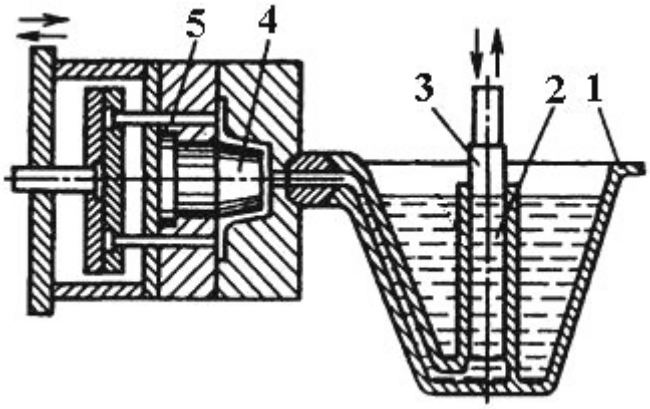


Рис. 16. Схема процесса изготовления отливок на машинах с горячей камерой прессования: 1 – тигель; 2 – камера прессования; 3 – плунжер; 4 – полость пресс-формы; 5 – выталкиватели

Машины с горячей камерой прессования используют при изготовлении мелких и сложных отливок из магниевых, цинковых, оловянных, свинцово-сурьмянистых и других легкоплавких сплавов массой от нескольких граммов до 25 кг.

Отливки, полученные литьем под давлением, отличаются чистотой поверхности и высокой точностью. Литье под давлением экономически целесообразно для крупносерийного и массового производства точных отливок из легкоплавких сплавов. К основным недостаткам литья под давлением относится высокая стоимость пресс-форм и оборудования, ограниченность габаритных размеров и массы отливок, а также наличие воздушной пористости в массивных частях отливок, снижающей прочность деталей.

Литье под низким давлением применяют для получения крупных тонкостенных корпусных заготовок из легкоплавких сплавов.

При литье под низким давлением (рис. 17) в обогреваемую камеру устанавливают плавильный тигель с расплавленным металлом, на верхнюю часть камеры устанавливают литейную форму. Полость формы сообщается с тиглем с помощью металлопровода. Под действием сжатого воздуха или газа, поступающего в камеру из пневмосмесителя под давлением 0,01-0,08 МПа, расплав при температуре на 100-150 °С выше температуры ликвидуса из тигля поднимается по металлопроводу со скоростью 1,5-1,6 м/с и заполняет полость формы. После заполнения формы и необходимой выдержки для затвердевания отливки давление в камере сбрасывается, форма раскрывается и отливка извлекается.

Этот способ позволяет получать тонкостенные отливки сложной конфигурации, плотные, без усадочной и газовой пористости и раковин. Метод широко применяют для изготовления сложных фасонных и особенно тонкостенных отливок корпусного типа из алюминиевых и магниевых сплавов, отливок из меди и реже стали массой до 50 кг в серийном и массовом производствах.

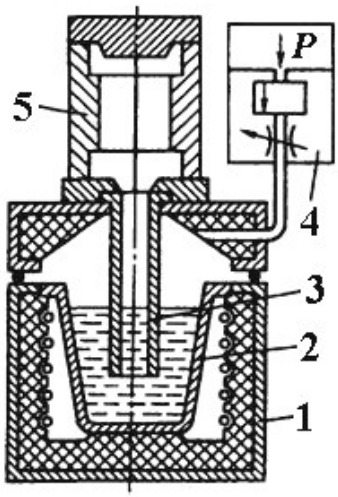


Рис. 17. Схема литья под низким давлением: 1 – обогреваемая камера; 2 – тигель; 3 – металлопровод; 4 – пневмосмеситель; 5 – литейная форма

Литье под давлением занимает одно из ведущих мест в литейном производстве. В отечественной и зарубежной практике этим способом получают отливки, по конфигурации и размерам наиболее близкие к готовым деталям.

Литьем под давлением можно получать отливки с внешней или внутренней резьбой: барашковые гайки и винты, колпачковые гайки с фигурными головками, штепсельные разъемы. Качество поверхности литой резьбы выше, чем механически нарезанной, так как рабочие поверхности пресс-формы шлифуют и полируют. Литьем под давлением можно изготавливать отливки со специальной резьбой, которую почти невозможно получить другим способом, например прямоугольную или спиральную резьбу треугольного профиля для ниппелей, ввинчиваемых в гибкие шланги.

Отливки из алюминиевых, магниевых и медных сплавов, так же, как и отливки из чугуна, стали и титановых сплавов, получают на машинах с холодной камерой прессования. Отливки из цинковых сплавов изготовляют преимущественно на машинах с горячей камерой прессования.

Отливки из цинковых сплавов наиболее часто используют в производстве автомобилей и товаров народного потребления (дверные и мебельные замки, зажимы застежек «молния», детали швейных машин). В автомобильной промышленности из цинковых сплавов изготовляют детали приборов и декоративные детали типа ручек, решеток, корпусов фар.

Отливки, полученные литьем под давлением, применяются во многих бытовых приборах (пылесосах, стиральных машинах, телефонных аппаратах, светильниках, пишущих машинках) и очень широко – в автомобильной промышленности и в производстве компьютеров.

Центробежное литье

Сущность получения отливок центробежным литьем заключается в заливке сплава во вращающиеся формы. Формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок. Центробежное литье применяют в основном для получения пустотелых отливок типа тел вращения. К числу

таких изделий относятся трубы из чугуна, стали, цветных металлов, втулки, цилиндрические гильзы, тракторные и автомобильные детали и др.

Центробежным литьем отливки изготовляют в металлических, песчаных, оболочковых формах и формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной или вертикальной осью вращения.

При получении чугунных водопроводных труб на машинах с горизонтальной осью вращения (рис. 18) изложницу устанавливают на опорные ролики и закрывают кожухом. Изложница приводится во вращение электродвигателем. Расплавленный чугун из ковша заливают через желоб, который в процессе заливки чугуна перемещается в направлении, показанном стрелкой, что обеспечивает получение равностенной отливки. Для образования раструба трубы используют либо песчаный, либо оболочковый стержень. После затвердевания залитого чугуна трубу извлекают из изложницы. На этих машинах изготовляют втулки, кольца и т.п.

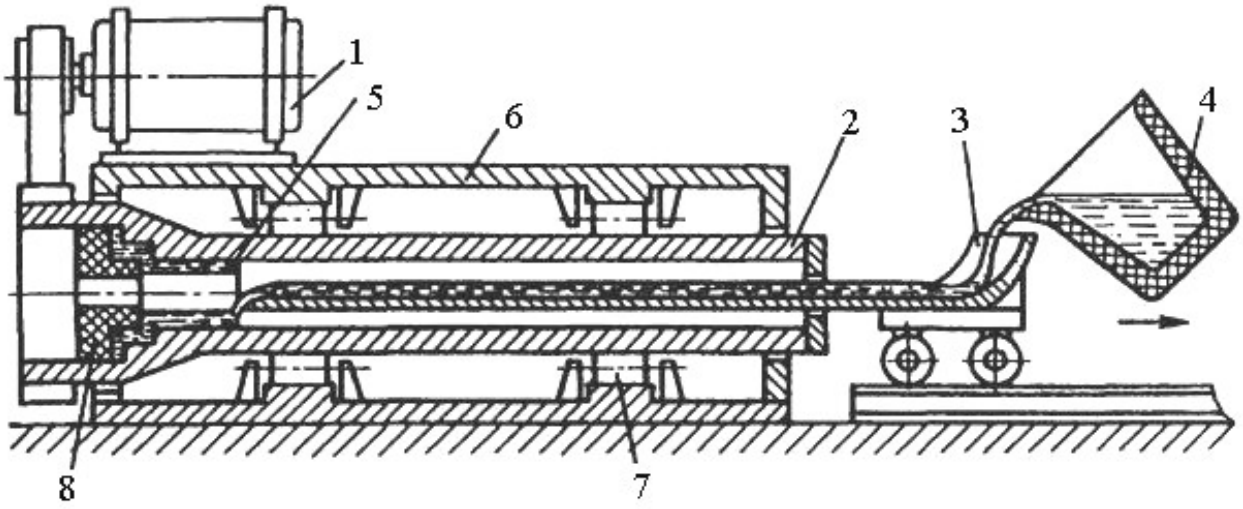


Рис. 18. Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем:
1 – электродвигатель; 2 – изложница; 3 – желоб; 4 – заливочный ковш; 5 – отливка;
6 – кожух; 7 – опорные ролики; 8 – стержень

Преимущества центробежного литья – высокая плотность отливок вследствие малого количества пустот усадочного и газового происхождения, в ряде случаев центробежные отливки по своим свойствам оказываются на уровне поковок, превосходя их по экономии металла и снижению трудозатрат; большая экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы; возможность получения двухслойных заготовок, что достигается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь и чугун, чугун и бронза и т.д.).

Разновидностью центробежного литья является центробежное литье с использованием разовых и полупостоянных песчано-глинистых, керамических и графитовых форм. При этом расширяются возможности литья, повышается качество отливок и эффективность процессов литья в разовые и полупостоянные формы (керамические и графитовые формы используются неоднократно). Этими разновидностями литья можно получать сложные фасонные отливки (турбинные колеса, роторы короткозамкнутых двигателей, ювелирные и зуботехнические изделия и другие тонкостенные детали с извилистыми очертаниями, а также с тонким и сложным рельефом).

Кроме основных способов литья, для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств металла отливок применяют такие разновидности литья, как электрошлаковое, центробежное и кокильное литье, при осуществлении которых плавление и кристаллизация металла в литейных формах происходит одновременно. Это определяет такие преимущества, как отсутствие контакта рафинированного жидкого металла с атмосферой, материалом плавильного агрегата, а также обеспечивает минимальный объем ванны жидкого металла. В зависимости от массы получаемых заготовок и от их серийности возможно применение той или иной из существующих разновидностей этого литья.

2.6 Дефекты отливок и способы их устранения

Брак отливок составляет от 5 до 20 % массы выпускаемой продукции. Наиболее часто встречаются внешние дефекты отливок, обнаруживаемые при поверхностном осмотре (несоответствие размеров, спаи, недоливы, заливы, пригар и др.); объемные дефекты, расположенные внутри отливки (трещины, раковины и пр.); несоответствие требованиям химического состава и структуры металла; неудовлетворительные механические и другие свойства.

Несоответствие размеров отливки чертежу является следствием дефекта модели, неточности сборки формы или вздутия слабо набитой формы при заливке.

Спаи и *недоливы* образуются при снижении жидкотекучести металла и его затвердевании до заполнения формы, что происходит при низкой температуре металла или малом сечении питателей тонкостенных отливок.

Заливы (заусенцы) и *перекосы* образуются по разъему форм вследствие небрежного спаривания полуформ, износа опок и моделей, контрольных штырей и втулок.

Пригар является следствием недостаточной огнеупорности формовочных материалов и красок.

Ужимины могут быть следствием теплового воздействия металла, когда поверхностные слои формы разогреваются и деформируются или отслаиваются, образуя в отливке вмятину. Ужимины также возникают из-за переуплотнения формы, ее повышенной влажности или неоправданно высокой температуры заливки металла.

Горячие трещины возникают в отливках при высокой температуре заливаемого металла, слабой податливости форм и стержней, при неправильной конструкции литников и прибылей. *Холодные трещины* являются следствием неравномерной усадки отливки в тонких и толстых ее частях.

Газовые раковины наблюдаются при чрезмерной влажности формовочной смеси, недостаточной вентиляции форм и стержней, сыром стержне, газонасыщенном металле, низкой температуре литья. *Земляные раковины* возникают при низкой прочности форм и стержней, смываемых струей заливаемого металла.

Шлаковые включения образуются при неправильной конструкции литниковой системы и заливке неочищенным от шлака металлом.

Усадочные раковины появляются при неправильной установке литников и прибылей, при высокой температуре заливки металла.

Основные способы исправления дефектов отливок – электро- и газовая сварка, заливка эпоксидной смолой, металлизация, механическая заделка. Дефектные места разделывают зубилами, высверливают и заваривают стальными, медными и медно-никелевыми электродами. Для снятия напряжений после заварки применяют отжиг отливок при 450-500°С.

Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте наиболее важные показатели литейных свойств.
2. По каким признакам классифицируют чугуны?
3. Дайте характеристику чугунам по форме включения графита.
4. Приведите примеры применения чугунов в машиностроении и судостроении.
5. Какую термообработку чугунов применяют и с какой целью?
6. Какие материалы и оборудование применяют для плавки чугуна?
7. Дайте характеристику сталей, применяемых для изготовления отливок? Перечислите контролируемые показатели для отливок.
8. Какие плавильные агрегаты применяют для выплавки сталей?
9. Какую термическую обработку применяют для стальных отливок и с какой целью?
10. Какие медные сплавы применяют в машиностроении, судостроении и судоремонте для изготовления литых деталей?
11. Опишите основные свойства и укажите области применения алюминиевых, магниевых и титановых литейных сплавов?
12. Приведите примеры классификации отливок. Что понимают под технологичностью литой детали?
13. Как производят выбор оптимального способа получения отливок?
14. Опишите способ литья в песчано-глинистые разовые формы. Какие требования предъявляют к формовочным и стержневым смесям?
15. Перечислите специальные способы литья и опишите суть данных способов.
16. Перечислите основные дефекты отливок и укажите способы их устранения.

ГЛАВА 3 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Обработка металлов давлением (**ОМД**) – группа технологических процессов, в результате которых происходит формоизменение заготовок без нарушения их сплошности, т.е. пластической деформацией под влиянием приложенных внешних сил. В машиностроении и других отраслях промышленности давлением обрабатывают около 90 % выплавляемой стали и до 55 % цветных металлов и сплавов.

В судостроении сталь и сплавы в качестве корпусных материалов применяют в основном в виде листового и профильного проката, поковок и штамповок, фасонного литья, а алюминиевые сплавы также в виде прессованных профилей, панелей, прутков, труб.

При обработке металлов давлением обычно преследуют две основные цели: *получение изделий сложной формы* из заготовок простой формы и *улучшение кристаллической структуры* исходного литого металла с повышением его физико-механических свойств.

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

Обработкой давлением можно изготовить детали самых различных размеров (от миллиметра до нескольких метров) и формы, получить изделия с постоянным или периодически изменяющимся поперечным сечением (прокатка, волочение, прессование) и штучные изделия разнообразных форм (ковка, штамповка). Штучные изделия обычно подвергаются обработке резанием. Объем удаляемого при этом металла зависит от степени приближения формы и размеров поковки или штамповки к форме и размерам готовой детали. В ряде случаев получают изделия, не требующие обработки резанием (болты, винты, большинство изделий листовой штамповки).

Обработка давлением является малоотходным экономичным технологическим процессом. Отходы металла не превышают 25 %, а при холодной штамповке составляют всего 5-10 %. При получении изделий обработкой резанием отходы металла в виде стружки составляют свыше 50 % массы готовой детали, причем удаляется наиболее прочный внешний слой. Обработка металлов давлением обеспечивает очень высокую производительность труда по сравнению с другими методами обработки. Например, при прокатке скорость выхода изделий достигает 30 м/с, при холодной штамповке на одном агрегате производится до 1500 деталей в минуту.

Внедрение технологических процессов, основанных на обработке металлов давлением, по сравнению с другими видами металлообработки (литьем, обработкой резанием) неуклонно расширяется, что объясняется уменьшением потерь металла, возможностью обеспечения высокого уровня механизации и автоматизации технологических процессов.

В основе обработки металлов давлениям лежит процесс пластической деформации, при котором изменяется форма без изменения массы. Все расчеты размеров и формы тела при обработке металлов давлением основаны на двух законах – *постоянства объема* и *наименьшего сопротивления*. Эти законы распространяются на все способы ОМД.

Закон постоянства объема, суть которого заключается в том, что объем тела до и после пластической деформации (соответственно V_1 и V_2) принимается неизменным:

$V_1=V_2=const$. Закон применяется для расчетов объема и размеров исходной заготовки, необходимой для получения поковки с заданными размерами, а также переходов и изменения размеров заготовки в процессе деформирования.

Закон наименьшего сопротивления: изменение формы тела может происходить в направлении трех главных осей; при этом каждая точка стремится перемещаться в том направлении, в котором создается наименьшее сопротивление ее перемещению. Закон позволяет учесть предпочтительное направление течения металла, определить, какая часть полости штампа заполнится быстрее, какие размеры и форму будет иметь поперечное сечение заготовки в результате ее обработки давлением.

При выборе металла или сплава для изготовления изделия различными способами обработки давлением учитывается способность материала к данному методу обработки – *технологические свойства* (ковкость, пластичность). Пластичность металлов и сплавов зависит от химического состава (у чистых металлов она выше), температуры нагрева, скорости и степени деформации и др. факторов.

Ковкость – свойство металла изменять свою форму под действием ударов или давления, не разрушаясь. Степень ковкости зависит от многих параметров. Наиболее существенным из них является *пластичность*, характеризующая способность материала деформироваться без разрушения. Чем выше пластичность материала, тем большую степень суммарного обжатия он выдерживает.

В условиях обработки металлов давлением на пластичность влияют многие факторы: состав и структура деформируемого металла, характер напряженного состояния при деформации, неравномерность деформации, скорость деформации, температура деформации и др. Изменяя те или иные факторы, можно изменять пластичность. Пластичность находится в прямой зависимости от *химического состава материала*. С повышением содержания углерода в стали пластичность падает. Большое влияние оказывают элементы, входящие в состав сплава как примеси. Олово, сурьма, свинец, сера не растворяются в металле и, располагаясь по границам зерен, ослабляют связи между ними. Температура плавления этих элементов низкая, при нагреве под горячую деформацию они плавятся, что приводит к потере пластичности.

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

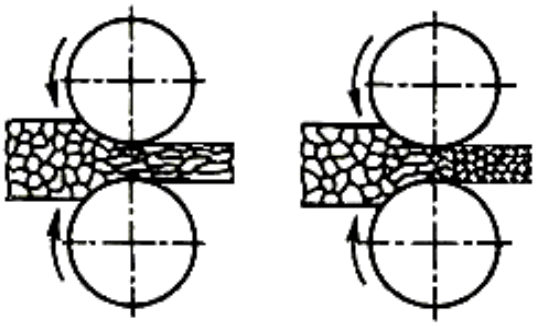
3.1 Влияние обработки давлением на структуру и свойства металлов и сплавов

Исходной заготовкой для начальных процессов ОДМ (прокатки, прессования) обычно является слиток, строение которого неоднородно, имеющий пористость, газовые пузыри и т.д. Обработка давлением слитка при нагреве его до достаточно высокой температуры приводит к дроблению кристаллитов и частичной заварке пористости и раковин (изменяется плотность).

В зависимости от температурно-скоростных условий деформирования различают *холодную* и *горячую обработку металлов*.

Изменение структуры и свойств металла при обработке давлением определяется температурно-скоростными условиями деформирования, в зависимости от которых различают холодную и горячую деформации.

При *холодной обработке металлов* изменяется форма зерна (рис. 19,*а*). Зерна вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла (образуется *полосчатая микроструктура*). В результате образования новых дислокаций, дробления зерен и искривления плоскостей скольжения формоизменение сопровождается изменением физико-химических и механических свойств металла, наблюдается явление *наклепа*, *упрочнения* – увеличивается твердость и прочность металла и снижается пластичность. Наклеп при холодной обработке давлением не позволяет осуществлять значительное деформирование в связи с опасностью разрушения металла.



а *б*

Рис. 19. Схемы изменения микроструктуры металла при деформации:
а – холодной; *б* – горячей

Для устранения наклепа применяют термообработку – *рекристаллизационный отжиг*. При нагреве холоднодеформированного металла вначале происходит снятие остаточных напряжений, искажений кристаллической решетки и взаимное уничтожение линейных дислокаций различных знаков из-за возросшей подвижности атомов. Это явление называется *возвратом*. Снятие остаточных напряжений при возврате почти не изменяет механические свойства металла, но влияет на некоторые его физико-химические свойства. Так, в результате возврата значительно повышаются электрическая проводимость и сопротивление коррозии холоднодеформированного металла.

При температурах нагрева выше $0{,}37 \cdot T_{пл}$, где $T_{пл}$ – абсолютная температура плавления металлов, начинается процесс *рекристаллизации*, при котором происходит зарождение и рост новых равноосных зерен взамен деформированных, вытянутых. Рекристаллизация протекает с определенной скоростью, время, требуемое для рекристаллизации, тем меньше, чем выше температура нагрева деформированной заготовки.

Холодная деформация позволяет получать большую точность размеров и лучшее качество поверхности, а также сокращает продолжительность технологического цикла, облегчает использование средств автоматизации и механизации, повышает производительность труда.

Горячая обработка металлов давлением (рис. 19,*б*) характеризуется явлениями возврата и рекристаллизации, отсутствием упрочнения (наклепа). При горячей обработке давлением механические и физико-химические свойства металла изменяются сравнительно мало.

Температурный интервал горячего деформирования определяют в зависимости от температуры плавления и рекристаллизации обрабатываемого сплава. Начальная температура должна быть ниже температуры начала плавления (температуры солидуса) $T_{сол}$, а конечная – выше температуры рекристаллизации $T_{рек}$. Например, для углеродистой стали температуру начала горячего деформирования выбирают по диаграмме состояния $Fe–Fe_3C$ на 150-200°С ниже температуры солидуса, а температуру конца деформирования принимают на 50-100°С выше температуры рекристаллизации данной стали. Прокатка большинства марок углеродистой стали начинается при 1100-1250°С и заканчивается при 850-950°С, т. е. интервал температур горячего деформирования составляет 250-300°С. При прокатке тонких листов на непрерывных станах перепад температур может достигать 350°С, и наоборот, при прокатке легированных сталей с повышенным сопротивлением деформированию температурный интервал уменьшается до 150-200°С.

При очень высокой температуре нагрева металла происходит его *перегрев* и *пережог*. При перегреве сильно вырастают зерна металла, что ведет к снижению его пластичности и вязкости. Брак по перегреву в большинстве случаев можно исправить отжигом. Однако для некоторых сталей (например хромоникелевых) исправление перегретого металла сопряжено со значительными трудностями и простой отжиг оказывается недостаточным. Пережог наблюдается, когда температура нагрева приближается к температуре солидуса $T_{сол}$ – температуре начала плавления. При этой температуре металл начинает плавиться. Пережог исправить нельзя, пережженный металл может быть отправлен только на переплавку.

Горячее деформирование существенно влияет на структуру и свойства металла. Структура слитка характеризуется наличием крупных дендритных кристаллов первичной кристаллизации, по границам которых расположены неметаллические примеси серы, фосфора, оксидов и карбидов в виде пленок или шариков. Деформирование литой структуры прокаткой, ковкой и прессованием приводит к дроблению кристаллов и вытягиванию их в направлении наибольшей вытяжки. В металле возникает видимость волокнистого строения. В промежутки времени между обжатиями металла бойками молота или валками прокатного стана происходит рекристаллизация металла с образованием мелких равноосных зерен, однако эти новые зерна остаются в вытянутых оболочках первичных кристаллитов. Таким образом, первоначальная вытянутость зерен остается зафиксированной. Образование волокнистой макроструктуры приводит к анизотропии (неоднородности) механических свойств металла в разных сечениях изделий, которая проявляется тем резче, чем больше степень деформации.

Металл с явно выраженной волокнистой макроструктурой характеризуется анизотропией механических свойств. При этом показатели прочности (предел текучести, предел прочности и др.) в разных направлениях отличаются незначительно, а показатели пластичности (относительное удлинение, ударная вязкость и др.) вдоль волокон выше, чем поперек их.

При горячей деформации сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше, чем при холодной деформации, это привело к широкому применению горячей обработки для изготовления крупных деталей (требуется менее мощное оборудование). Горячую деформа-

цию целесообразно применять также при обработке труднодеформируемых, малопластичных металлов и сплавов.

Преимущества горячей пластической деформации заключаются в меньшей опасности разрушения металла, снижении необходимых усилий и энергии деформирования, сокращении технологического цикла и возможности формирования мелкозернистой микроструктуры.

К недостаткам горячей пластической деформации относятся трудность поддержания высокой постоянной температуры и низкое качество поверхности, т.е. металлы и сплавы при нагреве до температур горячей пластической деформации окисляются (покрываются окалиной).

3.2 Классификация процессов обработки металлов давлением

По *назначению* процессы обработки металлов давлением группируют следующим образом:

для получения изделий постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления из них деталей обработкой резанием с использованием предварительного пластического формоизменения или без него. Основными разновидностями таких процессов являются *прокатка*, *прессование* и *волочение*;

для получения деталей или заготовок (полуфабрикатов), имеющих приближенно формы и размеры готовых деталей и требующих обработки резанием лишь для придания им окончательных размеров и получения поверхности заданного качества. Основными разновидностями таких процессов являются *ковка* и *штамповка*.

Пластическое деформирование в обработке металлов давлением осуществляется при различных *схемах напряженного и деформированного состояний*, при этом исходной заготовкой могут быть объемное тело, пруток или лист. Основными схемами деформирования объемной заготовки можно считать сжатие между плоскостями инструмента, ротационное обжатие вращающимися валками, затекание металла в полость инструмента, выдавливание металла из полости инструмента и волочение, при котором в качестве заготовки может быть использован только пруток. Процессы деформирования листовой заготовки – операции листовой штамповки – объединяются в две группы: *разделительные операции* (отрезка, вырубка, пробивка, надрезка) и *формоизменяющие* (гибка, вытяжка, формовка и др.).

3.2.1 Прокатное производство

Прокатка является наиболее распространенным способом обработки пластическим деформированием. Способ зародился в XVIII веке и, претерпев значительное развитие, достиг высокого совершенства. В промышленных странах прокатке подвергается больше $^4/_5$ выплавляемой стали. Прокат цветных металлов производится главным образом в виде листов, ленты и проволоки; трубы и сортовые профили из цветных металлов изготовляются преимущественно прессованием.

Сущность процесса прокатки заключается в том, что заготовка обжимается (сдавливается), проходя в зазор между вращающимися *валками*. В результате обжатия высота заго-

товки уменьшается, а длина и толщина увеличиваются. Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными.

Различают три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую (рис. 20).

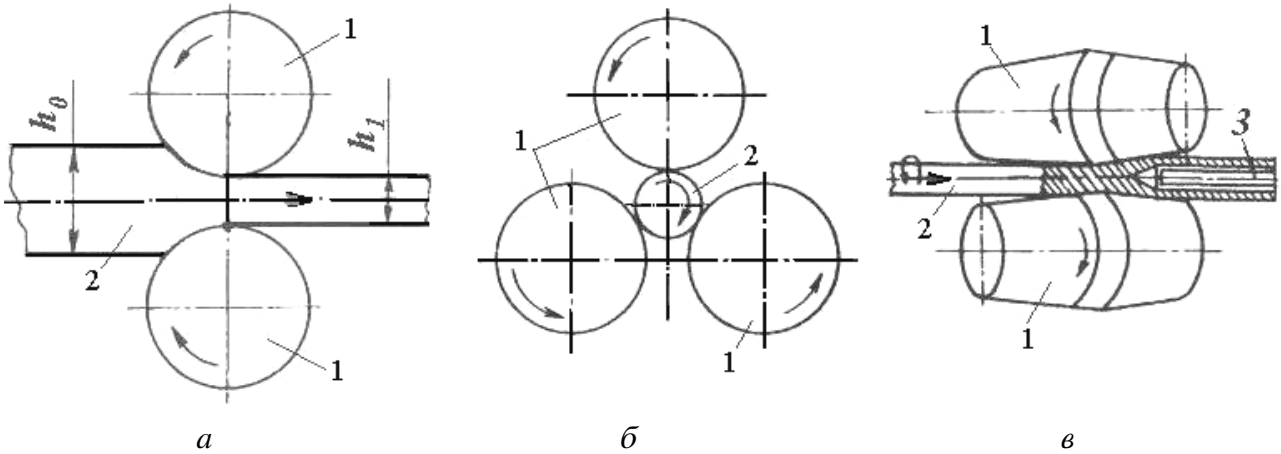


Рис. 20. Схемы основных видов прокатки: *а* – продольная; *б* – поперечная; *в* – поперечно-винтовая: *1* – валки; *2* – заготовка; *3* – оправка

Способ *продольной прокатки* является наиболее распространенным. В настоящее время почти 90 % всего проката производится продольной прокаткой, в том числе весь листовой и профильный прокат. При продольной прокатке валки вращаются в различных направлениях, захватывают заготовку, деформируют ее и перемещают перпендикулярно своим осям (рис. 20,*а*). Продольной прокаткой получают листовой и сортовой прокат.

В процессе поперечной прокатки обрабатываемая заготовка удерживается в валках с помощью специального приспособления.

При *поперечной прокатке* (рис. 20,*б*) валки, вращаясь в одном направлении, придают вращение заготовке и деформируют ее (деформация в поперечном направлении). Поперечную прокатку используют главным образом для получения специальных периодических профилей. Данным способом производят изделия, представляющие собой тела вращения (шары, оси, шестерни и пр.). Поперечной прокаткой накатывают зубья шестерен между двумя вращающимися валками.

При *поперечно-винтовой* (винтовой) *прокатке* (рис. 20,*в*) валки, вращающиеся в одном направлении, располагаются под углом друг к другу и сообщают заготовке при деформации вращательное и поступательное движения. Винтовая прокатка, изобретенная братьями Маннесманн в 1885 г., является основополагающей операцией производства бесшовных труб и применяется для прошивки заготовки в гильзу (толстостенную трубу), раскатки гильзы в трубу, калибровки и правки труб. Поперечно-винтовую прокатку также широко применяют для получения изделий с переменным по длине сечением.

Форма поперечного сечения прокатанного изделия называется профилем. *Совокупность различных профилей разных размеров* – сортаментом.

Сортамент прокатываемых профилей разделяют на четыре основные группы: *сортовой прокат*, *листовой прокат*, *трубный прокат* и *специальные виды проката*.

Сортовой прокат делят на *профили простой геометрической формы* (квадрат, круг, шестигранник, прямоугольник) и *профили сложной формы – фасонные профили* (швеллер, рельс, двутавровые балки, уголки и т.д.). Цветные металлы и их сплавы прокатывают преимущественно на простые профили – круглый, квадратный и прямоугольный.

В зависимости от назначения сортовой металл можно разделить на профили общего и специального назначения. К профилям общего назначения относят круглую, квадратную и полосовую сталь, угловую сталь, швеллеры, двутавровые балки и т. д. К профилям специального назначения относят рельсы и профили, применяемые в судостроении, автотракторостроении, строительстве, вагоностроении и других отраслях народного хозяйства. В судостроении, например, широко применяют полособульбовую сталь.

Листовой прокат из стали и цветного металла используют в различных отраслях промышленности. В связи с этим листовую сталь часто подразделяют по назначению, так, например, свариваемая корпусная сталь судостроения (ГОСТ 5521-76), горячекатаная толстолистовая конструкционная качественная углеродистая сталь толщиной от 4 до 14 мм и низколегированная сталь для котлостроения и сосудов, работающих под давлением (ГОСТ 5520-69), рулонная холоднокатаная сталь толщиной 0,02-4 мм и др.

Кроме того, листовую сталь разделяют на *толстолистовую* (толщиной от 4 до 160 мм) и *тонколистовую* (толщиной от 0,2 до 4 мм). Цветные металлы и сплавы прокатываются в виде листов и лент различных размеров и толщиной 0,2-25 мм. Толстолистовой прокат получают в горячем состоянии, другие виды листового проката – в холодном состоянии.

При постройке судов в отечественной практике используют листы размерами 1,6х6 м и 4,5х16 м, перспективным является использование листов длиной до 30 м. Выбор толщины листов наружной обшивки, а также настилов палуб и второго дна в различных местах корпуса определяется их ролью в обеспечении общей и местной прочности во время эксплуатации. Минимально допустимые толщины листов обшивки и настилов должны обеспечить определенный уровень местной прочности и коррозионной стойкости, хорошую сопротивляемость вибрации и деформированию при сварке.

Трубный прокат. Трубы разделяют на *бесшовные* и *сварные*. Бесшовные трубы прокатывают диаметром 30-650 мм с толщиной стенки 2-160 мм из углеродистых и легированных сталей, а сварные – диаметром 5-2500 мм с толщиной стенки 0,5-16 мм из углеродистых и низколегированных сталей. Кроме того, стальные трубы различают по назначению.

Бесшовные трубы используют в наиболее ответственных случаях – в трубопроводах, работающих под внутренним давлением, в агрессивных средах. При прокатке бесшовных труб первой операцией является прошивка – образование отверстия в слитке или круглой заготовке. Эту операцию выполняют в горячем состоянии на прошивных станах. Последующую прокатку прошитой заготовки в трубу требуемых диаметра и толщины стенки производят на раскатных станах.

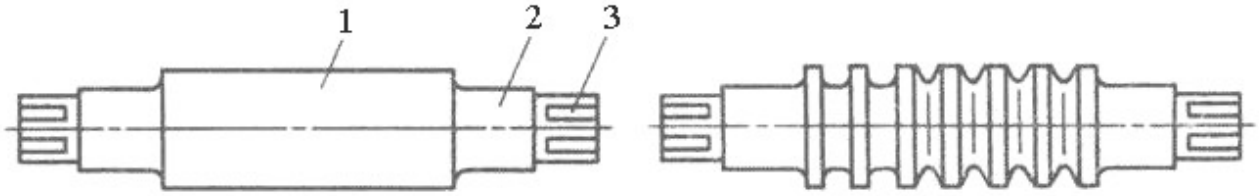
Сварные трубы изготовляют из плоской заготовки – ленты (называемой штрипсом) – или из листов, ширина которых соответствует длине (или половине длины) окружности трубы. Процесс изготовления сварной трубы включает следующие основные операции: гибку плоской заготовки, сварку кромок, уменьшение (редуцирование) диаметра полученной трубы.

К специальным видам проката относятся бандажи, кольца, зубчатые колеса, колеса, периодические профили и пр. Периодические профили представляют собой заготовку, форма и площадь поперечного сечения которой периодически изменяется вдоль оси. Периодические профили применяют как фасонную заготовку для последующей штамповки и как заготовку под окончательную механическую обработку. Периодические профили получают продольной прокаткой, поперечной и винтовой.

В зависимости от нормируемых показателей прокат подразделяют на категории: 1, 2, 3, 4, 5. Для обозначения категории к обозначению марки стали добавляют номер категории, например, Ст3пс1, Ст3пс5, Ст5сп2, Ст4сп3. В зависимости от назначения прокат делят на группы: I – для применения без обработки поверхности; II – для холодной механической обработки резанием; III – для горячей обработки давлением. Группу, если она не указана в заказе, устанавливает изготовитель. Фасонный прокат изготовляют только группы I.

Инструмент и оборудование для прокатки. В качестве инструмента для прокатки применяют *прокатные валки* (рис. 21). Валки состоят из рабочей части – бочки, шеек и трефы. Шейки валков вращаются в подшипниках, которые у одного из валков могут перемещаться специальным нажимным механизмом для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного расположения их осей.

В зависимости от прокатываемого профиля валки могут быть гладкими (рис. 21,*а*), применяемыми для прокатки листов, лент и т.п., и калиброванными (ручьевыми) (рис. 21,*б*) для получения сортового проката.



а *б*

Рис. 21. Прокатные валки: *а* – гладкий: 1 – бочка; 2 – шейки; 3 – трефы; *б* – калиброванный

Ручьем называется вырез на боковой поверхности валка, а совокупность двух ручьев пары валков образуют *калибр*. Калибры разделяют на *закрытые* и *открытые*. У открытых калибров линия разъема валков находится в пределах калибра, а у закрытых – вне его пределов. На каждой паре ручьевых валков обычно размещают несколько калибров.

Комплект прокатных валков со станиной называют *рабочей клетью*, которая вместе со шпинделем для привода валков, шестеренной клетью для передачи вращения с одного на два вала, редуктором, муфтами и электродвигателем образует *рабочую линию стана*. Рабочие клети по числу и расположению валков могут быть *двухвалковые*, *четырехвалковые*, у которых два валка рабочих и два – опорных, и *многовалковые*, у которых также два валка рабочих, а остальные – опорные. Использование опорных валков позволяет применять рабочие валки малого диаметра, благодаря чему увеличивается вытяжка и снижается усилие деформирования.

Прокатные станы могут быть *одноклетьевые* (с одной рабочей клетью) и *многоклетьевые*. Наиболее совершенные многоклетьевые станы – непрерывные, у которых рабочие клети последовательно располагают одну за другой. Число рабочих клетей станов равно числу проходов полосы, одновременно полоса прокатывается в нескольких клетях. На непрерывных станах достигается высокая производительность при полном исключении ручного труда. Максимальная скорость прокатки на современных непрерывных органах составляет 50-60 м/с.

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

К первой группе относят *обжимные станы* для прокатки слитков в полупродукт крупного сечения и *заготовочные* для получения полупродукта более мелкого сечения. Обжимные станы – *блюминги*, дающие заготовки для сортового проката (блюмы) – заготовки квадратного сечения или близкого к нему от 140x140 до 450x450 мм, и *слябинги*, дающие заготовки для листового проката (слябы) – заготовка прямоугольного сечения наибольшей толщиной 350 мм и шириной 2300 мм. К станам для производства готового проката относят *сортовые*, *листовые*, *трубные* и *специальные станы*.

Размер блюмингов, слябингов, заготовочных и сортовых станов характеризуется диаметром бочки валков (например, блюминг 1500, сортовой стан 350); размер листовых станов – длиной бочки (например, стан 3600), а размер трубопрокатных станов – наружным диаметром прокатываемых труб.

Производство стального проката на современном металлургическом заводе осуществляется двумя способами. При первом исходным материалом служат слитки (отлитые в изложницы), которые перерабатываются в готовый прокат обычно в две стадии. Сначала слитки нагревают и прокатывают на обжимных станах в заготовку. После осмотра заготовки и удаления поверхностных дефектов (закатов, трещин и т.п.) производят повторный нагрев и прокатку готовой продукции на специализированных станах.

При втором способе, применяемом с середины XX в., прокатка исходной заготовки заменяется непрерывным литьем (разливкой) на специальных машинах. После осмотра и удаления дефектов заготовка, как и при первом способе, поступает на станы для прокатки готовой продукции. Благодаря применению непрерывно-литой заготовки упраздняются слябинги и блюминги, повышается качество проката, устраняются потери на обрезку головной части слитка, доходящие у слитков спокойной стали до 15-20 %. Преимущества применения непрерывно-литой заготовки в производстве проката становятся еще более значительными при совмещении процессов непрерывного литья и прокатки в одном неразрывном потоке. Для этой цели созданы литейно-прокатные агрегаты, в которых слиток на выходе из кристаллизатора не подвергается разрезке, проходит печь, где выравнивается температура по сечению, и затем поступает в валки прокатного стана. Таким способом осуществляется процесс кристаллизации и прокатки бесконечного слитка, т.е. непрерывное производство проката из жидкого металла. Процесс получил широкое распространение при прокатке цветных металлов; он применяется также для производства стальной заготовки небольших сечений повышенного качества.

Производство плакированных металлов. Конструкционные материалы, применяемые в судостроении (сталь, дюралюминий), защищают более коррозионно-стойким металлом (не-

ржавеющей сталью, алюминием и др.). Металлы, покрытые каким-либо металлическим или неметаллическим материалом называются *плакированными*. Если плакирующий слой металлический, то такой материал называется *биметаллом* или *двухслойным металлом.* Может быть соединено три и более различных металлов и неметаллов, такой материал называется *трехслойным,* или *композиционным.*

В плакированных металлах толщина плакирующего слоя колеблется от десятых долей до нескольких миллиметров, что значительно больше, чем слой лаков, красок, смол, различных пластиков, и обеспечивает более надежную защиту от коррозии. Металлический плакирующий слой физически неразделим с основой при обработке и эксплуатации материала.

Используемые в судостроении двухслойные стали, состоящие из углеродистой или низколегированной основы и высоколегированного нержавеющего покрытия, изготовляют методом горячей совместной прокатки пакета из листов основы и покрытия либо прокаткой двухслойного слитка, полученного отливкой. При пакетной прокатке на сляб или плиту накладывают лист плакирующего металла. Для улучшения сцепления между соединяемыми поверхностями в ряде случаев на внутреннюю поверхность плакирующего металла гальваническим способом наносят слой третьего металла толщиной до 0,2 мм. Из листов, толщины которых примерно соответствуют отношению толщин слоев готового биметалла, складывают пакет, состоящий из двух слоев основного и двух слоев плакирующего металла. При этом слои плакирующего металла располагают внутри пакета и разделяют огнеупорной обмазкой, препятствующей их сцеплению. Затем кромки пакета сваривают по периметру, после чего пакет нагревают и прокатывают. После обрезки кромок готовые биметаллические листы отделяют один от другого. При общей толщине листа 5-10 мм плакирующий слой составляет 2-3 мм. С увеличением толщины листа до 35 мм плакирующий слой возрастает до 5 мм.

Подобным способом производят покрытие дюралюминия чистым алюминием для повышения коррозионной стойкости и получают другие биметаллы. Пакеты алюминиевых и других легкоплавких сплавов можно прокатывать в холодном состоянии. Для повышения их пластичности между операциями прокатки применяют рекристаллизационный отжиг путем нагрева выше температуры рекристаллизации ($T_{рекр.}$=0,3 $T_{пл.}$, где $T_{пл.}$ – температура плавления более тугоплавкого из двух соединяемых металлов).

Высокими коррозионной стойкостью и жаростойкостью обладает биметалл «сталь – алюминий (*алюминированная сталь*)». Наиболее распространенный метод нанесения плакирующего слоя алюминия на сталь – распыление чистого алюминия или его сплава с кремнием.

Для обеспечения эксплуатации при высоких температурах плакированный материал после нанесения покрытия подвергают термообработке – диффузионному отжигу при 600-950°С. Во время отжига атомы железа и алюминия диффундируют, образуя на поверхности биметалла сплав алюминия с железом с относительно высокой температурой плавления и плотной пленкой окиси алюминия Al_2O_3, которая защищает металл от окисления. Для защиты от атмосферной коррозии толщина покрытия 0,10-0,15 мм считается достаточной. Для защиты от высокотемпературного окисления применяют более толстые покрытия (0,15-0,20 мм).

В последнее время в судостроении находит применение сталь, плакированная титаном. Наиболее экономичный и простой способ плакирования – соединение листов титана с листами низколегированной стали без промежуточных прослоек. Прочность на срез биметалла «сталь

– титан» получается при этом выше прочности биметалла «углеродистая сталь – нержавеющая сталь». Технология плакирования стали титаном остается той же, что и технология сочетания других металлов, но требует более тщательной очистки соединяемых поверхностей и нагрева пакета перед прокаткой в среде аргона. Температура прокатки не должна превышать 950°С из-за возможности образования хрупких интерметаллических соединений титана с железом. Для предотвращения подобных соединений иногда между титаном и сталью предусматривают промежуточный слой различных металлов: кобальта, хрома, никеля, молибдена и др.

3.2.2 Ковка

Ковка – способ обработки давлением, при котором деформирование нагретого (реже холодного) металла осуществляется или многократными ударами *молота,* или однократным давлением *пресса*. Формообразование при ковке происходит за счет пластического течения металла в направлениях, перпендикулярных к движению деформирующего инструмента. При свободной ковке течение металла ограничено частично, трением на контактной поверхности деформируемый металл – поверхность инструмента: *бойков* плоских или фигурных, подкладных *штампов*.

Заготовками для ковки служат слитки, различный прокат, прессованные прутки и профили. Изделия, получаемые ковкой, являются машиностроительными заготовками, из которых в механосборочных цехах изготовляют детали. Изделия, изготовленные ковкой, называют кованными *поковками*. Ковкой получают разнообразные поковки массой до 300 т.

Ковка существенно улучшает структуру и свойства металла. Грубая, крупнозернистая структура слитка приобретает волокнистое строение с более мелким зерном, повышенными пластичностью и ударной вязкостью.

Свободную ковку применяют в основном при производстве единичных поковок сложной конфигурации. Преимуществами ковки по сравнению с другими способами обработки металлов являются ее малая зависимость от массы, формы и размеров заготовок; небольшая стоимость необходимой технологической оснастки; возможность использования менее мощного оборудования благодаря концентрированному приложению усилий к небольшому объему деформируемого металла.

Ковка может производиться в горячем и холодном состоянии. *Холодной ковке* поддается медь и драгоценные металлы. Технологический процесс холодной ковки состоит из двух чередующихся операций: деформации металла и рекристаллизационного отжига. В современных условиях холодная ковка встречается редко, в основном в ювелирном производстве. *Горячая ковка* применяется для изготовления различных изделий, а также инструментов: чеканов, зубил, молотков и т.п.

Материалом для горячей ковки являются малоуглеродистые стали, углеродистые инструментальные и некоторые легированные стали. Каждая марка стали имеет определенный интервал температур начала и конца ковки, зависящий от состава и структуры обрабатываемого металла. Температурные интервалы ковки для углеродистых сталей приведены в табл. 24.

Таблица 24

Температурные интервалы ковки для углеродистых сталей

Марка стали	Температуры ковки	
	начала	конца
Ст1	1300	900
Ст2	1250	850
Ст3	1200	850
Сталь У7, У8, У9	1150	800
Сталь У10, У12, У13	1130	870

Основными операциями ковки являются *осадка*, *протяжка*, *прошивка*, *гибка*, *скручивание* и др.

Осадка – операция обработки давлением, в результате которой уменьшается высота и одновременно увеличиваются поперечные размеры заготовок (рис. 23). При выполнении осадки требуется, чтобы инструмент перекрывал заготовку. Вследствие трения боковая поверхность осаживаемой заготовки приобретает бочкообразную форму, это характеризует неравномерность деформации. Повторяя осадку несколько раз с разных сторон, можно привести заготовку к первоначальной форме или близкой к ней, получив при этом более высокое качество металла и одинаковые его свойства по всем направлениям. Осадке подвергают заготовки, для которых высота не превышает 2,5-3 диаметра. Разновидностью осадки являются *высадка* – кузнечная операция, заключающаяся в деформировании части заготовки (концевой части или середины). Для проведения операции используют местный нагрев, например, в середине заготовки, или ограничивают деформацию на части заготовки кольцевым инструментом.

Протяжка (вытяжка) – кузнечная операция, в результате которой происходит увеличение длины заготовки за счет уменьшения площади ее поперечного сечения (рис. 24). Протяжка не только изменяет форму заготовок, но и улучшает качество металла. Операция заключается в нанесении последовательных ударов и перемещении заготовки, при этом между бойками во время удара находится только часть заготовки. Разновидностями протяжки являются разгонка, протяжка с оправкой, раскатка на оправке. *Разгонка (расплющивание)* – операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины. Операция выполняется за счет перемещения инструмента в направлении, перпендикулярном оси заготовки. *Протяжка на оправке* – операция увеличения длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенки и уменьшения наружного диаметра. *Раскатка на оправке* – операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок.

Прошивка – операция получения в заготовке сквозных или глухих отверстий за счет вытеснения металла (рис. 22).

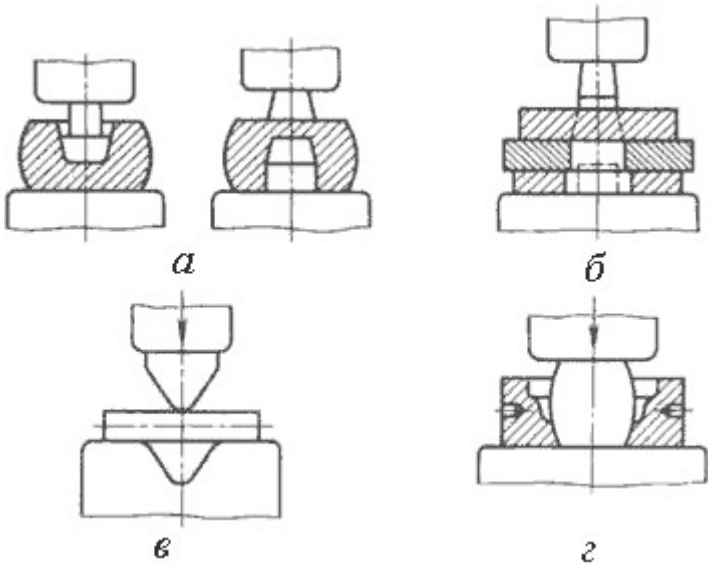


Рис. 22. Схемы прошивки (*а, б*), гибки (*в*), штамповки в подкладных штампах (*г*)

Инструментом для прошивки служат прошивни сплошные и пустотелые. Пустотелые прошивают отверстия большого диаметра (400-900 мм). При сквозной прошивке сравнительно тонких поковок применяют подкладные кольца (рис. 22,*б*). Более толстые поковки прошивают с двух сторон без подкладного кольца (рис.22,*а*). Диаметр прошивня выбирают не более половины наружного диаметра заготовки, при большем диаметре прошивня заготовка значительно искажается. Прошивка сопровождается отходом (выдрой).

Гибка – операция придания заготовке или ее части изогнутой формы по заданному контуру (рис. 22,*в*). Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади в месте изгиба (утяжка). Для компенсации утяжки в зоне изгиба заготовке придают увеличенные поперечные размеры. Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны.

Скручивание – операция, заключающаяся в повороте одной части поковки вокруг общей оси по отношению к другой ее части под определенным углом. Различают два случая: поворот на угол до 180° – для пространственной ориентации отдельных частей; многократное скручивание на 360° – для придания витого характера (используется как элемент украшения композиций решеток, перил, лестниц и т.д.). К скручиванию относится и свивание нескольких тонких прутков (проволок) в шнуры.

При изготовлении небольшой партии поковок с относительно сложной конфигурацией применяют штамповку в подкладных штампах (рис. 22,*г*). Подкладной штамп может состоять из одной или двух частей, в которых имеется полость с конфигурацией поковки или ее отдельных участков. В подкладных штампах можно изготовлять головки гаечных ключей, головки болтов, диски со ступицей, втулки с буртом и другие поковки.

Отрубка – операция отделения части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента – топора. Отрубку применяют для получения из заготовок большой длины нескольких коротких, для удаления излишков металла на концах поковок, а также прибыльной и донной частей слитков и т.п.

Технологический процесс ковки включает операции: резку исходной заготовки в требуемый размер, нагрев материала до требуемой температуры, формообразующую операцию, очистку заготовок от окалины, контроль поковки. При контроле поковок выявляют внешние и внутренние дефекты, проверяют соответствие геометрическим и функциональным техническим условиям. Разработка технологического процесса свободной ковки включает также составление чертежа поковки с назначением припусков, допусков и напусков; определение размеров и массы заготовки; выбор кузнечных операций и необходимого инструмента; выбор машинного оборудования.

Технологические требования к деталям, получаемым из кованых поковок, сводятся главным образом к тому, что поковки должны быть наиболее простыми, очерченными цилиндрическими поверхностями и плоскостями. В поковках следует избегать ребристых сечений, бобышек, выступов и т.п., учитывая, что эти элементы изготовить ковкой трудно. В местах сложной конфигурации приходится прибегать к напускам в целях упрощения конфигурации поковки, что вызывает удорожание детали. Кроме того, следует стремиться, чтобы конфигурация детали позволяла получать при ковке наиболее благоприятное расположение волокон. Детали сложной формы целесообразно выполнять сварными из нескольких поковок или из кованых и литых элементов.

Оборудование для ковки выбирают в зависимости от режима ковки данного металла или сплава, массы поковки и ее конфигурации. Необходимую мощность оборудования обычно определяют по приближенным формулам или справочным таблицам. Ковку выполняют на ковочных молотах и ковочных гидравлических прессах. *Молоты* – машины динамического, ударного действия. Продолжительность деформации на них составляет тысячные доли секунды. Металл деформируется за счет энергии, накопленной подвижными (падающими) частями молота к моменту их соударения с заготовкой. Поэтому при выборе молотов руководствуются массой их падающих частей. Для получения поковок массой до 20 кг применяют ковочные пневматические молоты, работающие на сжатом воздухе. Для получения поковок массой до 350 кг применяют ковочные паровоздушные молоты. В зависимости от конструкции станины паровоздушные ковочные молоты бывают арочные, мостовые и одностоечные. *Гидравлические прессы* – машины статического действия; продолжительность деформации на них может составлять от единиц до десятков секунд. Металл деформируется приложением силы, создаваемой с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального масла), подаваемой в рабочий цилиндр пресса. Ковочные гидравлические прессы применяют в основном для получения крупных заготовок из слитков.

Стальные поковки для судостроения, судового машиностроения и судоремонта изготавливают в соответствии с отраслевым стандартом ОСТ 5.9125-84 «Поковки стальные. Общие технические требования», который устанавливает основные технические требования на поковки и штамповки из углеродистых, легированных, коррозионно-стойких, дисперсионно-упрочняемых и теплоустойчивых конструкционных сталей.

Поковки корпусных конструкций для деталей работающих в условиях сложнонапряженного состояния и подвергающихся ударам и вибрации (кронштейнов гребных валов, ответственных вварышей и приварышей, дейдвудных труб и других ответственных деталей), должны быть подвергнуты обязательным испытаниям на растяжение (с определением предела те-

кучести временного сопротивления, относительного сужения и удлинения), ударный изгиб при температуре (20±5)°С и твердость. Таким же испытаниям с определением работы удара при температуре минус 40°С подвергают поковки, изготавливаемые и слитков дисперсионно-упрочняемой стали марки 08ГДНФ для деталей входящих в состав крупных ковано-сварных и комбинированных конструкций или привариваемых к корпусу (кронштейнов гребных валов, фланцев штевней, румпелей, поковок рулей и др.).

В соответствии с требованиями Регистра РФ поковки изготовляют из спокойной стали. Химический состав должен соответствовать следующим предельным значениям (%) по ковшовому анализу: для углеродистых и углеродисто-марганцевых сталей углерод – 0,6; кремний – 0,45; марганец – 0,3-1,5; сера, фосфор – по 0,04; медь, хром – 0,3; молибден – 0,15; никель – 0,4; для легированных сталей углерод, кремний – 0,45, сера и фосфор – по 0,035. Для изготовления поковок применяют сталь в виде слитков, блюмсов и слябов, а также сортового проката (для деталей I и II групп поковок) и кузнечных заготовок. Диаметры катаных заготовок и сортового проката допускаются не более 250 мм. Поковки применяют в термически обработанном виде. Режим термообработки устанавливает предприятие-изготовитель в зависимости от требуемых свойств, химического состава и размеров поковок.

Кроме ОСТ 5.9125-84, в отрасли действует ГОСТ 8536-79 «Заготовки судовых валов и баллеров рулей. Технические условия», который распространяется на заготовки: судовых валов (гребных, дейдвудных, промежуточных, упорных); баллеров и штырей рулей, успокоителей качки и поворотных насадок; баллеров и валов подруливающих устройств, поворотных колонок и устройств с движителями в качестве рабочего органа; съемных муфт для соединения валов и баллеров. Заготовки баллеров и штырей диаметром до 160 мм и валов диаметром до 120 мм допускается изготовлять из проката по ГОСТ 1050-88.

В ГОСТ 8536-79 приведены требования к поверхностям предварительно и окончательно обработанных заготовок, макроструктуре, сегрегации серы в отпечатках по Бауману, ультразвуковому контролю, изогнутости оси, шероховатости предварительно обработанных заготовок и другие требования, а также объемы испытаний заготовок по категориям прочности КМ, КМА, КТ и заготовок из коррозионно-стойких сталей. Допускается местная заварка дефектов, а также наплавка в зоне радиусов на штамповках при незаполнении штампов. Макроструктура поковок должна быть однородной; не допускаются следы усадочной раковины и рыхлости, пузыри, расслоения, трещины, скопления неметаллических включений и флокены. На поверхности поковок не должно быть расслоений, трещин, заковов, плен, песочин и других дефектов. На необрабатываемых поверхностях допускаются местные дефекты (вмятины от окалины, забоины), а также пологая вырубка или зачистка дефектов при условии, что размеры поковок остаются в пределах допуска на номинальный размер.

К числу деталей корпуса судна, выполняемых кованными, относятся форштевни и ахтерштевни небольших судов, детали судовых устройств (баллеры рулей, румпели, якоря, элементы якорных цепей) и дельные вещи (скобы, обухи, рымы, талрепы, клюзы, кнехты, горловины, крышки сходных люков, двери, иллюминаторы). Простые по форме поковки наготавливают свободной ковкой, более сложные – прессовой штамповкой. При дальнейшем усложнении формы деталей применяют отливку или изготовляют литосварные или литолистосварные конструкции.

Для получения поковок обычно используют слитки или кузнечную заготовку квадратного или круглого сечений. Из 100 кг заготовки получают до 75 кг поковок, а после механической обработки – 30-50 кг деталей.

Кованая сталь, претерпев горячее деформирование, приобретает анизотропию свойств в направлении приложения ковочных усилий, которая характеризуется коэффициентами анизотропности – отношением показателей механических свойств, получаемых при приложении нагрузки во взаимоперпендикулярных направлениях. Коэффициенты анизотропности зависят от степени деформации, называемой *уковом*. Уков – отношение площади поперечного сечения заготовки $F_З$ к площади наименьшего поперечного сечения поковки $F_П$: $У= F_З/F_П$.

Под влиянием укова значительно отличаются относительное удлинение и ударная вязкость и не изменяются показатели прочности. У поковки, полученной из слитка, коэффициент анизотропности относительного удлинения меняется от 1,1 до 1,8 при укове 1,6 и 6,1. При тех же значениях укова коэффициент анизотропности ударной вязкости равен 1,2 и 3,0, а временного сопротивления разрыву – 1,01 к 1,0. В связи с этим допустимую величину укова ограничивают до 3-6 в зависимости от размера заготовки.

Анизотропию необходимо учитывать при проектировании кованых изделий, выбирая их форму и располагая в конструкции таким образом, что волокна оказывались параллельными наибольшим действующими усилиям. Соответственно и технология ковки должна способствовать подобной ориентации.

В зависимости от назначений и условий работы изделий поковки, из которых их изготовляют, испытывают по-разному. По виду испытаний установлены пять групп поковок:

I – без испытаний (проводится только внешний осмотр) с проверкой химического состава;

II и III – испытывается твердость с проверкой химического состава;

IV и V – определяется предел текучести, относительное сужение и ударная вязкость с проверкой химического состава.

Принадлежность поковки к той или иной группе определяет конструктор в зависимости от условий работы и формы детали. Группу поковки он указывает на чертеже.

Группы поковок I-V соответствуют нумерации, принятой в стандарте общего назначения ГОСТ 8479-70. Поковки, используемые в судостроении, выполняются по техническим требованиям, установленным отраслевым стандартом ОСТ 5.9125-73 «Поковки стальные для судостроения. Технические требования». В этом стандарте по сравнению с ГОСТом на общемашиностроительные поковки есть еще группа VI и VII. VI – обязательные испытания на растяжение, ударную вязкость при -40°С, твердость, с проверкой химического состава.

К I группе поковок относятся фланцы, вварыши, наварники; к группе II – обухи, скобы забортного трапа; III группа поковок в судостроении не применяется; IV и V – кронштейны гребных валов, буксирные гаки; VI – шлюпки и параванбалки, детали клюза, вертлюги; VII – кронштейны гребных валов, штевни, баллеры рулей, мортиры, румпели.

В зависимости от механических свойств металла поковки разделяют на 16 категорий прочности, обозначаемых КП (от КП18 до КП80). Цифры указывают предел текучести, гарантируемый стандартом, после термической обработки стали. Для каждой категории прочности $\sigma_В$ и σ_m неизменны. Показатели же пластичности δ и ψ, ударной вязкости KCV и твердости

НВ изменяются в зависимости от диаметра или толщины поковки. Например, относительное удлинение поковки категории прочности КП 40 равно 17 % при диметре до 100 мм и 11 % при 500-800 мм.

Для каждой категории прочности рекомендованы марки сталей, поставляемых по обычным стандартам, с необходимыми значениями показателей механических свойств. Таким образом, конструктор избавлен при проектировании от переборки всех известных ему марок. Круг его поиска значительно сужается, и складывается определенная схема действия конструктора.

Каждую поковку осматривают для выявления дефектов, видимых невооруженным глазом, и обмеряют в соответствии с чертежом. Показатели механических свойств определяют на образцах, которые вырезают из припусков, оставляемых на концах поковки или в оговоренном на чертеже месте.

При неудовлетворительных испытаниях могут быть повторены испытания на удвоенном количестве образцов. Для достижения требуемых свойств поковки термически обрабатывают.

В ОСТе, по сравнению с ГОСТом, число категорий прочности дополнено КП85, КП90 и КП100, учитывающими необходимость производства деталей размерами от 800 до 900 мм. Для поковок КП20-КП32 используются стали обыкновенного качества (СтЗ,Ст4,Ст5), а также стали качественные (15,20 и т.д.). Для поковок категорий КП35-КП100 применяют стали легированные (15ХМ, 18ХГТ, 35Х, 40Х и др.).

В судостроении действует также специальный стандарт на поковки, предназначенные для изготовления валов, баллеров рулей (ГОСТ 8536-79). Им устанавливаются требования более высокие, поскольку эти изделия выдерживают значительные знакопеременные изгибающие и крутящие нагрузки, работают в коррозионных средах при высоких скоростях обтекания жидкостью. Для поковок валов и баллеров рулей, отнесенных к группе сложности IV, рекомендованы углеродистые и легированные качественные стали. Установлены специальные категории прочности только для таких поковок КМ (VIII категории) и КТ (VIII категории).

3.2.3 Штамповка

Штамповкой называют технологические процессы обработки давлением, при осуществлении которых формообразование изделия происходит в условиях ограниченного течения, определяемого формой и размерами полостей (*ручьев*) рабочих инструментов – *штампов*.

Схема напряженного состояния заготовки в процессе ее пластического деформирования зависит от типа заготовки. При штамповке изделий из слитков, сортового проката и прессованных прутков схема напряженного состояния, как правило, объемная (всестороннее неравномерное сжатие), поэтому штамповку называют *объемной* (рис. 23,*а, б*). При штамповке деталей из листовых заготовок схему напряженного состояния можно с достаточной степенью точности считать плоской, а штамповку называют *листовой* (рис. 23,*в*).

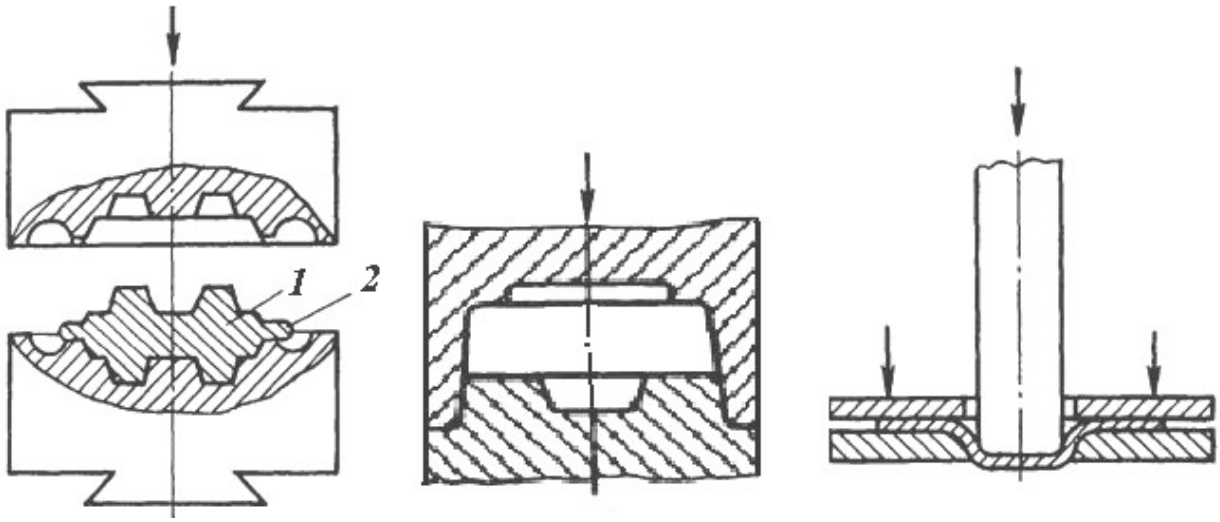


Рис. 23. Принцип устройства штампов при штамповке металла:
а, б – объемная штамповка: 1 – поковка; 2 – облой; *б* – листовая штамповка

Изделия, изготовленные объемной штамповкой, называют соответственно штампованными *поковками*, а изделия, изготовленные листовой штамповкой, *деталями*, поскольку последние практически идут в сборочные цехи без какой-либо обработки резанием.

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

В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах.

Штамповка в открытых штампах. Открытый штамп (рис. 23,*а*) отличается простотой устройства и универсальностью применения, но горячая штамповка в нем связана с образованием заусенца (*облоя*), который обеспечивает заполнение сложного рельефа полости штампа. Для размещения заусенца в штампе предусматривается специальная канавка. После штамповки заусенец обрезают в штампе на обрезном прессе. Отход металла при этом составляет 5-20 %, иногда достигает 50-80 %. Штамповкой в открытых штампах можно получать поковки практически всех типов.

Штамповка в закрытых штампах (рис. 23,*б*) характеризуется тем, что полость штампа в процессе деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа при этом постоянный и небольшой, так что образование облоя в нем не предусмотрено. При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки. Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах – уменьшение расхода металла, поскольку нет отхода в облой. Поковки, полученные в закрытых штампах, имеют более благоприятную структуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в облой. При штамповке в закрытых

штампах металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, чем в открытых штампах. Это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.

Объемную штамповку осуществляют при разных температурах исходной заготовки и, в соответствии с температурой, делят на холодную и горячую. Наиболее широкое распространение получила горячая объемная штамповка, которую ведут в интервале температур, обеспечивающих снятие упрочнения.

Горячая объемная штамповка осуществляется с нагревом до температуры 200-1300°С в зависимости от состава сплава и условий обработки. Нагрев заготовки позволяет примерно в 10-15 раз снизить сопротивление деформированию, а также повысить пластичность металла. Исходным материалом для горячей объемной штамповки являются сортовой прокат, прессованные прутки, литая заготовка, в крупносерийном производстве – периодический прокат, что обеспечивает сокращение подготовительных операций. Масса получаемых изделий от нескольких грамм до 6-8 тонн, точность размеров поковок зависит от их массы и конфигурации и может быть повышена последующей холодной калибровкой. Процесс горячей объемной штамповки аналогичен по физической сущности свободной ковке, но осуществляется в штампах.

Горячей объемной штамповкой получают поковки, однородные по структуре, сравнительно высокой точности, сложной конфигурации, чего невозможно добиться при свободной ковке. Однако средний коэффициент использования металла при горячей объемной штамповке 0,5-0,6 (т.е. до 40-50 % металла идет в отход), при холодной штамповке этот коэффициент значительно выше.

Технологический процесс изготовления поковки включает следующие операции: отрезка проката на мерные заготовки, нагрев, штамповка, обрезка облоя и пробивка пленок, правка, термическая обработка, очистка поковок от окалины, калибровка, контроль готовых поковок. Термическую обработку применяют для получения требуемых механических свойств поковок и облегчения их обработки резанием. Отжиг снимает в поковках из высокоуглеродистых и легированных сталей остаточные напряжения, измельчает зерно, снижает твердость, повышает пластичность и вязкость. Нормализацию применяют для устранения крупнозернистой структуры в поковках из сталей с содержанием углерода до 0,4 %. Очистку поковок от окалины производят для облегчения контроля поверхности поковок, уменьшения износа металлорежущего инструмента и правильной установки заготовки на станках.

В качестве оборудования для горячей объемной штамповки используют молоты, горячештамповочные кривошипные прессы, горизонтально-ковочные машины, гидравлические прессы и машины для специализированных процессов штамповки. Процессы штамповки на этих машинах имеют свои особенности, обусловленные устройством и принципом их действия.

Объемная холодная штамповка осуществляется в штампах, аналогичных штампам объемной горячей штамповки, обеспечивающих последовательное приближение формы заготовки к форме детали. Вследствие упрочнения процесс холодной штамповки обычно расчленяется на большее число операций и переходов, чем при горячей штамповке, а для увеличения пластичности и уменьшения сопротивления деформированию используют межоперационные

отжиги. Из пластичных металлов и сплавов холодной штамповкой можно получать полые детали с толщиной стенки в десятые и даже сотые доли миллиметра.

Холодную объемную штамповку выполняют на прессах или специальных холодно-штамповочных автоматах. Холодная штамповка сортового металла разделяется на штамповку в открытых штампах, холодное выдавливание и холодную высадку.

Холодная штамповка в открытых штампах заключается в придании заготовке формы детали путем заполнения полости штампа металлом заготовки. Схема штамповки аналогична схеме горячей объемной штамповки.

Холодное выдавливание осуществляется по схемам деформирования, сходным с прессованием металлов. Используют *прямое*, *обратное*, *боковое* и *комбинированное* выдавливания (рис. 24), различающиеся направлением течения металла по сравнению с направлением смещения пуансона относительно матрицы.

При *прямом* выдавливании металл течет из матрицы в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона. Этим способом можно получить детали типа стержня с утолщением, трубки с фланцем, стакана с фланцем. При *обратном* выдавливании металл течет в направлении, противоположном направлению движения пуансона, в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей для получения полых деталей с дном или в полый пуансон для получения деталей типа стержня с фланцем. При *боковом* выдавливании металл течет в боковые отверстия матрицы под углом к направлению движения пуансона. Таким образом, можно получить детали типа тройников, крестовин и т.п. Выдавливание можно осуществлять и в горячем состоянии.

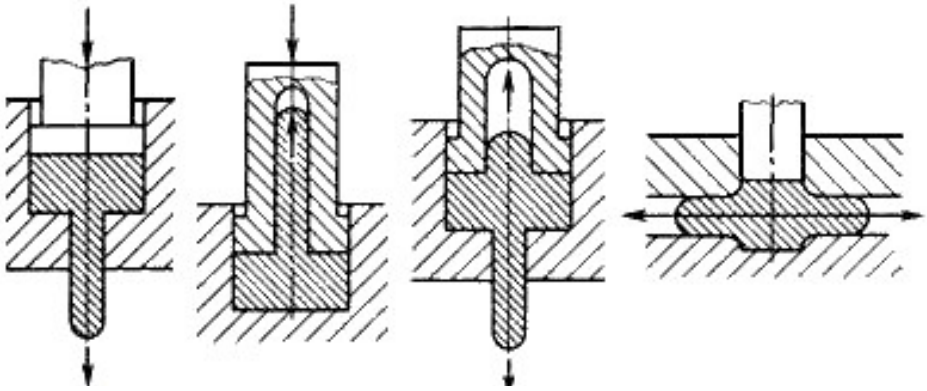


Рис. 24. Схемы выдавливания: *а* – прямого; *б* – обратного; *в* – комбинированного; *г* – бокового

Холодным выдавливанием получают сплошные и полые детали довольно сложной конфигурации. Схема всестороннего сжатия, при которой происходит холодное выдавливание, обеспечивает увеличение пластичности металла и позволяет получать без разрушения большое формоизменение заготовки.

Высадка – образование на заготовке местных утолщений требуемой формы в результате осадки ее конца. Заготовкой обычно служит холоднотянутый материал в виде проволоки или прутка из черных или цветных металлов. Высадкой изготавливают стандартные и специ-

альные крепежные изделия, кулачки, валы-шестерни, детали электронной аппаратуры, электрические контакты и т.д. Высадка осуществляется на прессах, горизонтально-ковочных машинах и автоматических линиях, оснащенных холодновысадочными пресс-автоматами. На холодновысадочных автоматах штампуют заготовки диаметром 0,5-40 мм из черных и цветных металлов, а также детали с местными утолщениями сплошные и с отверстиями (заклепки, болты, винты, гвозди, шарики, ролики, гайки, звездочки, накидные гайки и т.п.).

Листовая штамповка. Методами листовой штамповки получают детали и готовые изделия для судостроения и приборостроения, автомобильной и авиационной промышленности, часового производства и т.д. Детали, полученные листовой штамповкой, обладают высокой прочностью при относительно небольшой массе и отличаются рациональностью форм. Благодаря использованию пластических материалов листовая штамповка позволяет получать и сложные по форме тонкостенные детали, и массивные прочные детали, которые не могут быть получены иным способом (например, листовой штамповкой можно изготовить стрелку ручных часов и пятиметровый лонжерон грузового автомобиля). Листовая штамповка деталей в сочетании со сваркой позволяет производить неразъемные узлы практически неограниченных размеров (в судостроении, вагоностроении).

Основные преимущества листовой штамповки:

- возможность изготовления прочных легких и жестких тонкостенных деталей простой и сложной формы, получить которые другими способами невозможно или затруднительно;
- высокие точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить механическую обработку;
- сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность (30000-40000 деталей в смену с одной машины);
- хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически выгодна и в массовом, и в мелкосерийном производствах.

В качестве заготовок при листовой штамповке используют ленту, полосу, лист. Штампуют обычно холодные заготовки. При малой пластичности материала или при недостаточной мощности оборудования штампуют горячие заготовки.

Операции листовой штамповки подразделяют на *разделительные* и *формоизменяющие*. Все операции выполняются при помощи специальных инструментов – *штампов*, которые имеют различные конструкции в зависимости от назначения. Штампы состоят из рабочих элементов – *матрицы* и *пуансона*, и вспомогательных частей – прижимов, направляющих, ограничителей и т.д. Пуансон вдавливается в деформируемый металл или охватывается им, а матрица охватывает изменяющую форму заготовку и пуансон.

Из *разделительных операций* наиболее широко в судостроении применяют отрезку, вырубку, пробивку и зачистку. *Отрезка* – отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах – ножницах и в штампах. Отрезку чаще применяют как заготовительную операцию для разделения листа на полосы заданной ширины. *Вырубка* и *пробивка* – отделение металла по замкнутому контуру в штампе (рис. 25).

При вырубке и пробивке характер деформирования заготовки одинаков. Эти операции отличаются только назначением. Вырубкой (рис. 25,*а*) оформляют наружный контур детали, а пробивкой (рис. 25,*б*)– внутренний контур (изготовление отверстий). Вырубку и пробивку осуществляют металлическими пуансоном и матрицей. Пуансон вдавливает часть заготовки в отверстие матрицы. Качество поверхности среза улучшают также *зачисткой*, которая заключается в срезании стружки небольшой толщины (0,1-0,3 мм) по контуру детали или отверстия (матрицей или пуансоном).

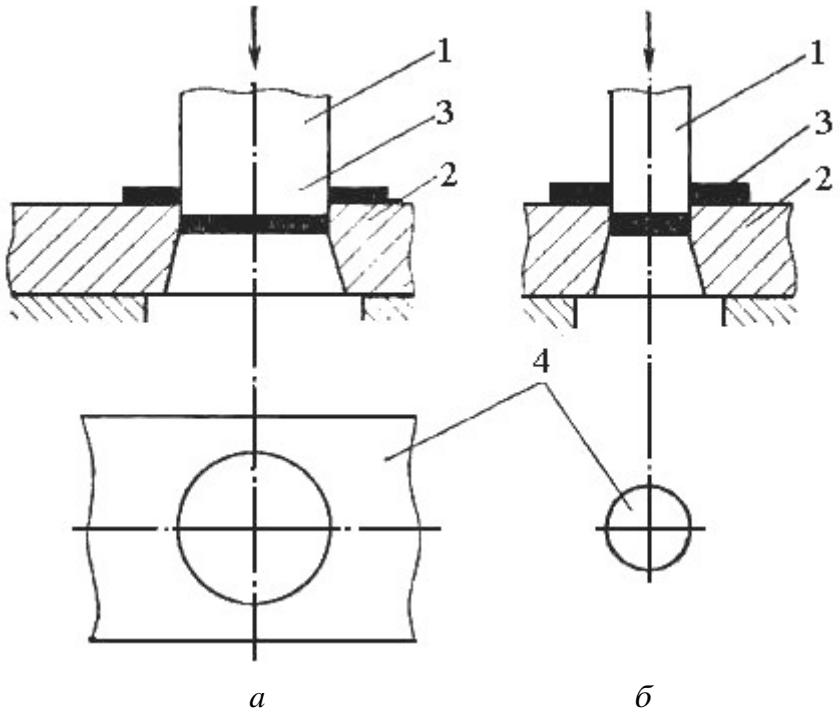


Рис. 25. Схема процессов вырубки (*а*) и пробивки (*б*):
1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – изделие; 4 – отход

В *формоизменяющих операциях* деформированная часть заготовки изменяет свои формы и размеры, материал перемещается без разрушения. К формообразующим операциям относят гибку, вытяжку, отбортовку, скручивание, формовку и др. *Гибка* – операция, изменяющая кривизну заготовки практически без изменения ее линейных размеров. *Вытяжка* без утонения стенки превращает плоскую заготовку в полое пространственное изделие при уменьшении периметра вытягиваемой заготовки. Вытяжка с утонением стенки увеличивает длину полой заготовки в основном за счет уменьшения толщины стенок исходной заготовки. *Отбортовка* – получение бортов (горловин) путем вдавливания центральной части заготовки с предварительно пробитым отверстием в матрицу. *Формовка* – операция, при которой изменяется форма заготовки в результате растяжения отдельных ее участков. Толщина заготовки в этих участках уменьшается. Формовкой получают местные выступы на заготовке, ребра жесткости и т.п.

Операции листовой штамповки используют не только для придания заготовке определенной формы, но и для соединения отдельных отштампованных деталей между собой.

Штампосборочные операции могут служить для получения разъемных и прочных неразъемных соединений.

При листовой штамповке наиболее применимы кривошипные прессы, которые разделяют на прессы простого и двойного действия. Кроме кривошипных прессов для листовой штамповки применяют гидравлические прессы (штамповка резиной, штамповка крупногабаритных толстостенных деталей).

Штамповка жидкого металла. Одним из прогрессивных технологических процессов, позволяющих получать плотные заготовки с уменьшенными пропусками на механическую обработку, с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами является *штамповка жидкого металла*. Технологический процесс штамповки жидкого металла объединяет в себе процессы литья и горячей объемной штамповки. Процесс заключается в том, что расплав, залитый в матрицу пресс-формы, уплотняют пуансоном, закрепленным на ползуне гидравлического пресса, до окончания затвердевания. После извлечения из пресс-формы заготовку подвергают различным видам обработки или используют без последующей обработки.

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

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

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

3.2.4 Прессование

Прессование заключается в продавливании заготовки, находящейся в замкнутой форме, через отверстие матрицы. При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и поэтому имеет большую пластичность. Прессованием можно обрабатывать такие специальные стали, цветные металлы и их сплавы, которые ввиду низкой пластичности (особенно в литом состоянии) другими видами обработки давлением деформировать невозможно или затруднительно. Черные металлы и сплавы прессуют в горячем состоянии, цветные как в горячем, так и в холодном состояниях.

Для прессования используют черные и цветные металлы и сплавы в виде слитков, литых и предварительно деформированных кованых или катанных заготовок диаметром до 500 мм и более и длиной до 1200 мм. Состояние поверхности заготовки оказывает значительное влияние на качество поверхности и точность прессованных профилей. Поэтому во многих случаях заготовку предварительно обтачивают на станке; после нагрева поверхность заготовки тщательно очищают от окалины.

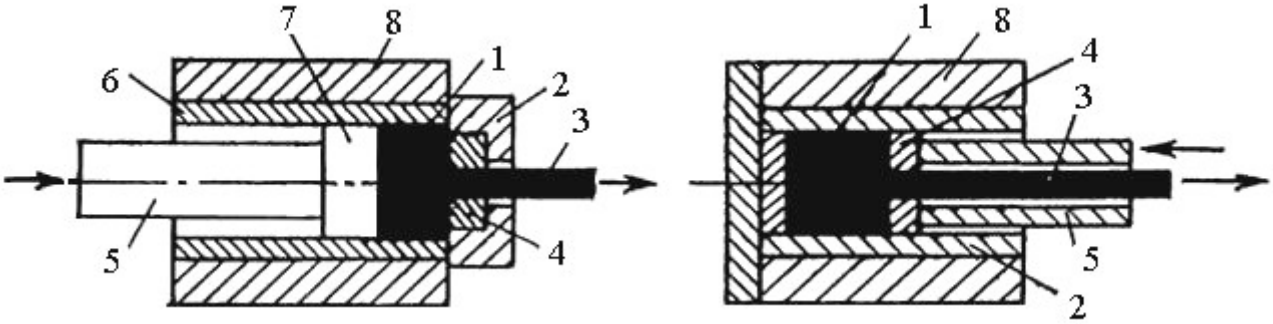
Прессованием изготовляют прутки диаметром до 250 мм, трубы диаметром 20-400 мм при толщине стенки 1,5-12 мм, полые профили с несколькими каналами сложного сечения, с

наружными и внутренними ребрами, разнообразные профили с постоянным и изменяющимся (плавно или ступенчато) сечением по длине. Профили для изготовления судовых деталей, несущих конструкций и других изделий, получаемые прессованием, часто оказываются более экономичными, чем изготовляемые прокаткой, штамповкой или отливкой с последующей механической обработкой.

Степень обжатия металла при прессовании определяется отношением разности площадей сечений контейнера и всех отверстий в матрице к площади контейнера. Обжатие может достигать 90 %.

Прессование выполняют двумя методами – *прямым* и *обратным*. При прямом методе прессования (рис. 26,*а*) заготовку укладывают в полость контейнера. Давление пресса передается на заготовку пуансоном через пресс-шайбу, при этом металл вынужден течь (выдавливаться) через отверстие в матрице, укрепленной в матрице-держателе. Обычно выдавить полностью из контейнера весь металл заготовки не удается. Часть металла, оставшуюся в контейнере называют *пресс-остатком*. Этот металл удаляется отрезкой.

Процесс характеризуется высоким качеством поверхности и простой схемой прессования.



а *б*

Рис. 26. Схема процесса прессования: *а* – прямое прессование; *б* – обратное прессование: 1 – заготовка; 2 – держатель матрицы; 3 – изделие; 4 – матрица; 5 – пуансон; 6 – направляющая втулка; 7 – пресс-шайба; 8 – контейнер

При обратном методе прессования (рис. 26,*б*) контейнер закрыт с одного конца упорной шайбой (заглушка в матрице-держателе), а давление пресса передается через полый пуансон с укрепленной на нем матрицей на заготовку, металл которой течет навстречу движению матрицы с пуансоном.

Если при прямом методе прессования металл при перемещении встречает сопротивление вследствие трения о матрицу и стенки контейнера, то при обратном методе трение возникает только при перемещении металла через матрицу. Поэтому усилие прессования при обратном методе на 25-30 % меньше, чем при прямом прессовании. Однако меньшая деформация приводит к тому, что прессованный пруток сохраняет следы структуры литого металла. Кроме того, обратный метод прессования более экономичен по расходу металла (пресс-остаток составляет 5-6 %).

Недостатки прессования: значительные потери на отходы (масса пресс-остатка может достигать от 20 до 40 % массы исходной заготовки), неравномерность механических свойств

по длине и сечению изделия. Инструмент для прессования изготавливается из высококачественных инструментальных сталей и жаропрочных сплавов. Основным оборудованием для прессования являются вертикальные или горизонтальные гидравлические прессы усилием до 50 МН.

К основным этапам прессования относятся: подготовка заготовки, заключающаяся в удалении внешних дефектов обточкой на металлорежущих станках и разрезке на мерные длины, нагрев до заданной температуры; подача нагретого металла в контейнер пресса; выдавливание металла из контейнера через матрицу; отделка полученного изделия, в которую входят отделение пресс-остатка; резка на мерные длины; правка на правильных машинах; удаление дефектов; необходимая термическая обработка.

Кроме прямого и обратного, существуют и другие способы прессования: труб из сплошной заготовки с предварительной прошивкой ее иглой; сплошных и полых профилей плавно-переменного или ступенчато-переменного сечения; широких ребристых листов (панелей) из плоского (щелевого) контейнера и т.д. Промышленное применение находит также гидростатическое прессование металлов (*гидроэкструзия*), при котором давление на заготовку передается через жидкость. При этом способе силовое поле создается жидкостью высокого давления, подаваемой в контейнер от внешнего источника, или давлением на жидкость уплотненного пресс-штемпеля.

3.2.5 Волочение

Волочение – это процесс деформирования металла протягиванием катаных или прессованных заготовок через отверстие волоки (рис. 27) с целью уменьшения их поперечного сечения или получения более точных размеров и гладкой поверхности.

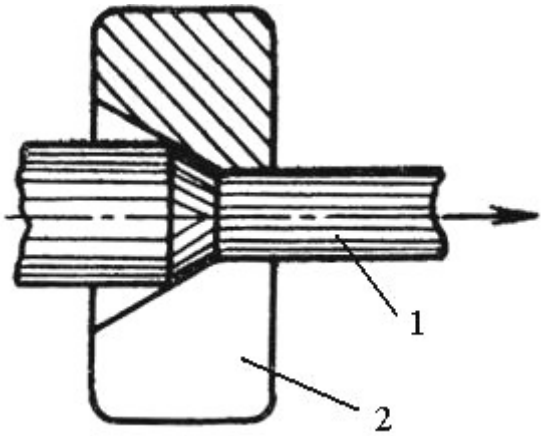


Рис. 27. Схема процесса волочения: 1 – заготовка; 2 – волока

Волочением получают проволоку диаметром 0,002-4 мм, прутки и профили фасонного сечения, тонкостенные трубы, в том числе и капиллярные. Изделия, полученные волочением, обладают высоким качеством поверхности и высокой точностью размеров поперечного сечения. Если изделию требуется придать в основном эти характеристики, то такой вид обработки называют *калибровкой.*

Волочением обрабатывают стали различного химического состава, прецизионные сплавы, а также практически все цветные металлы (золото, серебро, медь, алюминий, и др.) и их сплавы. При производстве алюминиевой, медной и другой проволоки в качестве исходной заготовки используют катанку, получаемую непосредственно из плавильной печи через кристаллизатор и непрерывный прокатный стан.

Независимо от способа получения исходная заготовка перед волочением проходит тщательную предварительную подготовку, которая заключается в проведении термической обработки, удалении окалины и подготовке поверхности для закрепления и удержания на ней смазки в процессе волочения. Эти предварительные операции обеспечивают нормальное выполнение пластической деформации в волочильном отверстии, способствуют получению высокого качества поверхности изделия, уменьшают усилие и энергию на волочение и снижают износ волочильного инструмента.

Волочение чаще выполняют при комнатной температуре, когда пластическую деформацию сопровождает наклеп, это используют для повышения механических характеристик металла, например, предел прочности возрастает в 1,5-2 раза.

Для восстановления пластичности упрочненный волочением металл подвергают промежуточному отжигу. В процессе получения готового изделия волочением термическую обработку для снятия наклепа и улучшения структуры металла выполняют несколько раз в зависимости от размеров исходного и конечного продуктов обработки и окончательных его качественных показателей. Готовый продукт также подвергают окончательной термической обработке в целях придания металлу требуемых механических свойств и структуры.

После процесса волочения прутки помимо термической обработки во многих случаях правят, шлифуют, полируют и в зависимости от назначения наносят на них защитные покрытия. Правку обычно выполняют на роликоправильных машинах, которые устанавливают или в потоке производства, или отдельно. Шлифовка поверхности калиброванных прутков на глубину до 0,15-0,30 мм используется для удаления поверхностных дефектов, снятия обезуглероженного слоя, придания точных размеров поперечному сечению прутка и др.

Основной инструмент при волочении – *волоку* изготовляют из инструментальных сталей, металлокерамических сплавов и технических алмазов (для волочения проволоки диаметром менее 0,2 мм). Волочение проводится на волочильных станах с прямолинейным движением заготовки (*цепные волочильные станы*) и с наматыванием металла на барабаны (*барабанные волочильные станы*). Цепные волочильные станы применяются для волочения и калибровки прутков и труб, барабанные – для волочения проволоки, специальных профилей и труб небольших диаметров.

Барабанные станы используют двух типов – для однократного и многократного волочения. Для однократного волочения станы имеют вертушку для установления бунта проволоки. Конец проволоки пропускают через волоку и наматывают поле закрепления на вращающийся барабан. Барабан приводится в движение (вращение) от электродвигателя. Барабанные станы для многократного волочения проволоки имеют несколько волок (число может доходить до двадцати). При волочении проволока проходит через ряд волок с последовательным наматыванием на барабаны. При этом каждый промежуточный барабан является одновременно и

тянущим. Зубчатые передачи в стане подобраны так, что по мере волочения в связи с изменением сечения проволоки скорость вращения каждого последующего барабана возрастает.

На станах барабанного типа протягивают проволоку диаметром от 0,002 до 6 мм и прутки диаметром до 25 мм, сматываемые в бунты. Для уменьшения трения волоки устанавливают в коробки, наполненные маслом. Скорость волочения достигает 50 м/с.

Волочение отличается от механической обработки металла резанием (строганием), фрезерованием, обточкой и пр., тем, что при волочении отсутствуют отходы металла в виде стружки, а сам процесс заметно производительнее и менее трудоемок. Поскольку волочение производят в условиях холодной деформации, оно обеспечивает точность размеров (стальная проволока диаметром 1-1,6 мм имеет допуск 0,02 мм), низкую шероховатость поверхности, получение очень тонкостенных профилей.

3.3 Дефекты деформированного металла

К основным дефектам деформированного металла относятся трещины, флокены, плены, прижоги и др.

Трещины – бывают одиночные или групповые, расположенные беспорядочно или идущие в определенном направлении. По длине они достигают нескольких метров; глубина трещин в зависимости от размеров проката, причин и условий возникновения дефекта – до 10-15 мм.

Штамповочные трещины – (трещины горячего деформационного происхождения) связаны с пониженной пластичностью материала и имеют, как правило, извилистый характер. Характерным структурным признаком, свидетельствующем об образовании трещины в процессе горячей деформационной обработки, является объединение легирующими элементами материала детали в зоне ее полостей, которое на микрошлифах проявляется в виде наблюдаемых белых не травящихся полос, окаймляющих берега трещины.

Трещины напряжения – дефект, представляющий собой направленную вглубь металла, часто под прямым углом к поверхности, трещину, образующуюся вследствие объемных изменений, связанными со структурными превращениями или с нагревом и охлаждением металла.

Флокены – представляют собой волосные трещины с кристаллическим строением поверхности стенок, образующиеся внутри толстого проката или поковок (диаметром более 30 мм) из сталей перлитного и мартенситного классов (хромистых, хромоникельвольфрамовых, марганцовистых и некоторых других легированных сталей). Флокены можно наблюдать на изломах в виде пятен круглой или овальной формы, имеющих серебристо-белую блестящую окраску и называемых «хлопьями», а на макро – и микрошлифах – в виде прямых, иногда извилистых и зигзагообразных линий длиной от нескольких десятков долей миллиметра до 10-15 мм и более. В малых сечениях изделий из сильно прокатанной стали (диаметром менее 25-30 мм) флокены никогда не обнаруживаются так же, как и в литой стали. Флокены не встречаются также в сталях аустенитного класса. Характерным для флокенов является расположение в виде групп преимущественно в средней части проката или поковки по толщине. Причина образования флокенов – возникновение значительных структурных напряжений и охрупчи-

вание стали в сердцевине, вызванное присутствием водорода, не успевшего выделиться из металла при быстром охлаждении.

Волосовины – мелкие внутренние или выходящие на поверхность трещины, образовавшиеся из газовых пузырей или неметаллических включений при прокате или ковке. Они направлены вдоль волокон металла и в поперечном изломе видны как точки или линии небольшой высоты. Шлаковые и песчаные включения не способны пластически деформироваться и при обжатии слитка распадаются на большое число обломков с острыми углами, образуя при вытяжке цепочки вдоль волокон. Силикаты железа, марганца и других элементов при температуре прокатки могут быть пластичны, поэтому вытягиваются вдоль волокон прокатанного металла. Длина волосовин 20-30 мм, а иногда 100-150 мм. Встречаются волосовины во всех конструкционных сталях.

Расслоения – нарушения сплошности внутри прокатанного металла, представляющие собой раскатанные крупные дефекты слитка (глубокие усадочные раковины, усадочная пористость, скопления пузырей или неметаллических включений). Характерным для расслоения является то, что поверхность нарушения сплошности параллельна плоскости прокатки. Так, раскатанные скопления неметаллических включений дают внутреннюю прослойку, разделяющую лист или профиль на две, три или несколько частей.

Внутренние разрывы – сравнительно крупные нарушения сплошности внутренней части заготовки, периодически повторяющиеся по ее длине. Поверхность излома по разрыву – крупнокристаллическая. Разрывы возникают под влиянием сил растяжения вследствие неодинаковой деформации наружных и внутренних слоев прокатываемого металла с малой пластичностью. Наблюдаются при прокатке высоколегированных сталей. Разрывы, возникшие в начальной стадии прокатки, при дальнейшей значительной деформации могут образовать расслоения.

Рванины – представляют собой разрывы или надрывы металла разнообразного очертания с рваными краями. Чаще расположены на кромках листов, профилей. К образованию рванин при прокатке слитков особенно склонны высоколегированные стали с крупнозернистой структурой.

Скворечник – представляет собой раскрывшуюся при деформации внутреннюю поперечную термическую трещину в слитках или заготовках. На макрошлифе наблюдается полость с разрывами, выходящими на поверхность.

Закаты и *заковы* – вдавленные и закатанные (закованные) заусенцы или возвышения (бугорки) на поверхности, получившиеся при предыдущем пропуске слитка через калибр прокатного стана. При этом металл заусенца или возвышения не сваривается с основной массой проката. Закат, образовавшийся от заусенца, похож на продольную трещину, а от возвышения – на плену с криволинейным незамкнутым контуром. Иногда закат образуется от остатков усадочной раковины после обрезки верхней части слитка с усадочной раковиной. При прокатке раковина не заваривается из-за окислов на ее стенках.

Плены – представляют собой сравнительно тонкие плоские отслоения на поверхности прокатанного или кованого металла. В большинстве случаев плены имеют вид «языка», у которого уширенный и утолщенный конец составляет одно целое с основной массой металла. По размерам плены бывают от мелких едва заметных чешуек до 100 мм и более по длине и шири-

не (в толстых листах); толщина плен колеблется от десятых долей миллиметра до 3-5 мм и более. Причинами образования плен могут быть неудовлетворительное качество слитков (наличие на поверхности отливки плен, плохая раскисленность и пузырчатость металла) и нарушение режимов прокатки (неудовлетворительная калибровка, неправильная насечка валков, образование заусенцев и рванин в самом начале прокатки).

Прижоги – дефекты, образующиеся при локальном перегреве материала, например в процессе клеймения (маркировки) деталей электрографом. При металлографическом анализе материала деталей наличие прижогов устанавливается по белым, нетравящимся участкам, видимым на поверхности травленого шлифа.

Вопросы для самоконтроля

1. С какой целью проводится обработка металлов давлением?
2. Какие законы распространяются на все способы обработки металлов давлением?
3. Что определяет способность материала к данному методу обработки давлением?
4. Какую обработку металлов давлением различают в зависимости от температурно-скоростных условий деформирования?
5. Как температура деформации влияет на изменение структуры и свойств металла?
6. Что такое наклеп и как его устранить?
7. Какие явления происходят при высокой температуре нагрева металла?
8. Как классифицируют процессы обработки металлов давлением по назначению?
9. В чем заключается сущность процесса прокатки?
10. Какие основные виды прокатки различают?
11. Что называют профилем прокатанного изделия?
12. На какие основные группы подразделяют сортамент прокатываемых изделий?
13. Какой инструмент и оборудование используют при прокатке?
14. Опишите сущность процесса плакирования.
15. В чем заключается сущность процесса ковки?
16. Как влияют процессы ковки на свойства металла?
17. Опишите основные операции ковки.
18. Какие технологические требования предъявляют к деталям, получаемым из кованых поковок?
19. Какой инструмент и оборудование используют при ковке?
20. Каким испытаниям подвергают судовые поковки?
21. Как разделяют судовые поковки в зависимости от механических свойств металла?
22. В чем заключается сущность процессов объемной и листовой штамповки?
23. Какой инструмент и оборудование используют при штамповке?
24. Чем отличается штамповка в открытых штампах от штамповки в закрытых штампах?
25. Как разделяют холодную штамповку сортового металла?
26. В чем отличие разделительных операций листовой штамповки от формоизменяю-

щих?

27. Опишите технологический процесс штамповки жидкого металла.
28. В чем заключается сущность процесса прессования?
29. Какой инструмент и оборудование используют при прессовании?
30. Какие методы прессования используют наиболее широко и в чем их отличие друг от друга?
31. В чем заключается сущность процесса волочения?
32. Какой инструмент и оборудование используют при волочении?
33. Перечислите и охарактеризуйте основные дефекты прокатанного и кованного металла?

ГЛАВА 4 ОСНОВЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сварка – технологический процесс получения неразъемных соединений в результате возникновения атомно-молекулярных связей между соединяемыми деталями при их нагреве и пластическом деформировании.

Большая роль в развитии сварки в отечественном судостроении принадлежит профессору В.П. Вологдину (1883-1950), который первым после революции возобновил сварку по методу изобретателя Н.Г. Славянова на Дальзаводе в г. Владивостоке. Под руководством В.П. Вологдина построены первые сварные котлы, первый отечественный электросварной морской буксир. Вологдин В.П. организовал подготовку специалистов инженеров-сварщиков в Дальневосточном политехническом институте, первый выпуск которых состоялся в 1930-1931 гг.

В 1935 г. в Ленинграде был построен первый полусварной крупный морской пароход «Седов». Постройка клепаных судов для речного флота была запрещена в 1939 г. специальным приказом. К началу Великой Отечественной войны сварка почти повсеместно вытеснила клепку. По своему значению переход от постройки клепаных корпусов судов на сварные можно сравнить с переходом в середине XIX в. от деревянных судов к металлическим.

Простота конструкций сварных соединений (по сравнению с клепаными), широкие возможности для автоматизации обработки заготовок, сборки и сварки обеспечили снижение трудоемкости изготовления корпусов судов. Применение сварки в судовом машиностроении позволило более рационально использовать материалы с различными эксплуатационными свойствами, создавать комбинированные монолитные конструкции из кованых штампованных и литых частей.

Основными преимуществами сварных соединений являются: экономия металла; снижение трудоемкости изготовления корпусных деталей; возможность изготовления конструкций сложной формы из отдельных деталей, полученных ковкой, прокаткой, штамповкой.

Сваркой соединяют не только металлические материалы, но также и металлы с неметаллами и неметаллические материалы между собой (например, сталь – стекло, медь – керамика и др.). Сварка применяется во всех областях техники. Все речные и морские суда, вагоны, котлы, металлические строительные конструкции, гидротехнические сооружения, газо- и нефтеводы и многие другие ответственные конструкции проектируются и выполняются только сварными.

Качество сварных соединений и затраты на их выполнение для различных металлов зависят от применения разных видов и условий сварки. Свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным спецификой конструкции и условиями ее эксплуатации называется *технологической свариваемостью*, или просто *свариваемостью*.

Свариваемость – *свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.*

Хорошей свариваемостью обладают материалы, для качественного соединения которых не требуется создания специального оснащения и расхода дополнительных материальных

и трудовых затрат. Материалы, для сварки которых требуется специальное оснащение, специальные технологические приемы и особая последующая обработка (сварка с подогревом, термическая обработка соединений и пр.), т.е. значительные затраты труда и времени, считаются ограниченно свариваемыми.

Свариваемость материала является технико-экономическим показателем; который изменяется при изменении требований к сварным соединениям, при разработке новых способов, приемов и новой технологии сварки; т.е. зависит от прогресса сварочной науки и техники. В процессе развития сварочной техники происходит непрерывная переоценка свариваемости – плохо свариваемые материалы переходят в разряд хорошо свариваемых, а некоторые, считавшиеся ранее хорошо свариваемыми материалами, из-за повышения требований к качеству конструкций признаются неудовлетворительно свариваемыми и заменяются новыми.

Существуют разнообразные комплексы испытаний на свариваемость. Их содержание зависит от назначения и условий работы сварных соединений в конструкции. Чаще всего в них определяется чувствительность основного металла и металла шва к термомеханическому воздействию при сварке (склонность к росту зерна, закалке, образованию трещин, склонность к потере металлом антикоррозионных и других специальных свойств). Помимо испытаний специального назначения производятся комплексные (технологические) пробы, имитирующие реальные условия сварки.

Для обеспечения хорошей свариваемости корпусные стали изготавливают малоуглеродистыми (содержание углерода не более 0,23 %). Структура таких сталей (феррито-перлитная) пластична и обеспечивает сварному соединению хорошую работоспособность. Технология сварки сталей с высоким содержанием углерода, используемым в судовом машиностроении, сложна, при сварке обычно требуется высокий подогрев (200-350°С) и после сварки проведение операции отпуска.

4.1 Классификация способов сварки и сварных соединений

Для создания физического контакта между соединяемыми деталями, очистки поверхностей от посторонних веществ используются различные физико-химические процессы и технические приемы. Нагрев свариваемых деталей может осуществляться электрической дугой, газокислородным пламенем, пропусканием тока, лазером и т.д. По-разному обеспечиваются защита зоны сварки от воздействия воздуха и ее принудительная деформация. Существует более 70 технологических процессов сварки.

В зависимости от *способа образования физического контакта* между деталями сварку разделяют на три группы.

Первую группу составляют такие разновидности сварки, которые производятся с местным расплавлением соединяемых деталей. Кристаллизация расплавленного металла обеспечивает соединение деталей с помощью промежуточного элемента – литого металла шва. Разновидности сварки, составляющие эту группу, называются *сваркой плавлением*.

Вторая группа включает в себя разновидности сварки, в процессе которой физический контакт между соединяемыми поверхностями достигается с помощью *припоя* – легкоплавкого жидкого металла, вводимого в зазор между твердыми деталями. В результате, как и при

сварке плавлением, образуется литой соединительный шов. Разновидности сварки, характеризующиеся таким приемом, называются *пайкой*.

Третья группа содержит в себе разновидности сварки, при которой сближение частиц на контактных поверхностях обеспечивается пластической деформацией выступов (неровностей), осуществляемой путем приложения к соединенным деталям внешнего давления. Разновидности сварки, характеризующиеся таким приемом, называются *сваркой давлением*.

Неразъемные соединения, выполненные сваркой любой разновидности – плавлением или давлением, – называются *сварными соединениями*. Неразъемные соединения, полученные пайкой, называются *паяными соединениями*.

Сварные и паяные соединения имеют сложное строение (рис. 28). Важным элементом соединений, полученных сваркой плавлением (рис. 28,*а*) и пайкой (рис. 28,*б*), является *шов* (сварной шов, паяный шов) – участок соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла. В сварных соединениях, выполненных сваркой давлением, шов не имеет точного очертания; в них выделяют *зону соединения* – участок, в котором образовались межатомные связи (рис. 28,*в*).

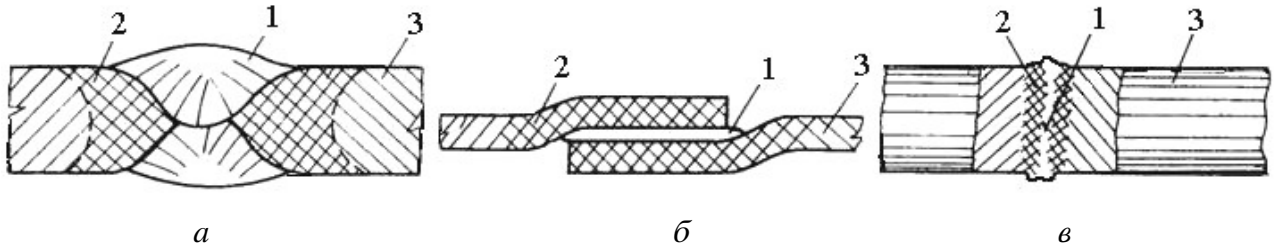


Рис. 28. Схема строения соединений, выполненных: *а* – сваркой плавлением: 1 – литой металл шва, 2 – зона термического влияния (ЗТВ), 3 – основной металл; *б* – пайкой: 1 – металл шва, 2 – ЗТВ, 3 – основной металл; *в* – сваркой давлением: 1 – зона соединения, 2 – зона термомеханического воздействия, 3 – основной металл

При образовании сварного или паяного соединения нагреву и деформации неизбежно подвергается значительный объем основного (свариваемого) металла по обе стороны от шва (зоны соединения). В результате по обе стороны от шва образуются зоны основного металла с измененной структурой и отличными от первоначальных механическими свойствами: они называются *зонами термического влияния* (ЗТВ).

Таким образом, под сварным (паяным) соединением понимают часть конструкции, которая включает в себя шов, зоны термического влияния и подвергаемый сварке *основной металл* по обе стороны от шва.

4.2 Особенности структуры и свойств сварных соединений

Сварное соединение состоит из участков с неодинаковым химическим составом и различной структурой. Ориентировочный характер изменений структуры сварных швов объясняется сопоставлением линии максимальных температур нагрева основного металла в отдельных точках околошовной зоны с диаграммой состояния сплава. Так если перенести с диаграммы $Fe–Fe_3C$ положение критических точек на линию максимальных температур и на сварное

соединение, то в зоне сварного соединения можно выделить несколько участков с характерной структурой (рис. 29).

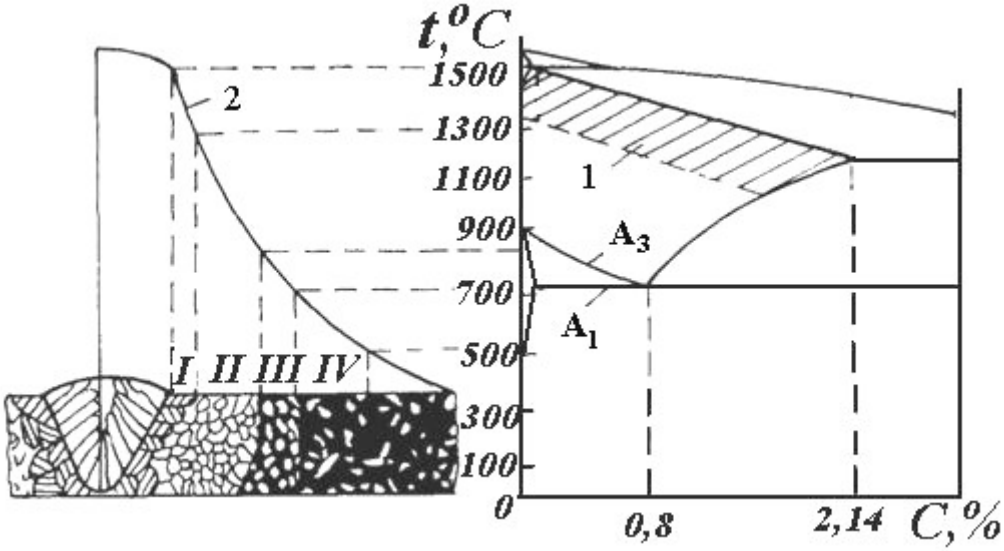


Рис. 29. Схема строения основного металла в зоне термического влияния для стали, содержащей 0,23 % углерода: 1 – область температур, вызывающих перегрев стали; 2 – линия максимальной температуры нагрева зоны термического влияния

Процесс образования шва при сварке плавлением включает расплавление основного металла, смешение наплавляемого электродного металла с расплавленным основным – образование металла шва, кристаллизацию жидкого металла шва (первичная кристаллизация) и кристаллизацию в твердом металле шва при его остывании (вторичная кристаллизация), наблюдаемую только в сплавах с аллотропическими превращениями.

В сварном шве, так же, как и в слитках, при кристаллизации развивается *ликвация* – неравномерность в распределении элементов сплава (S, P, C) в шве, обусловленная большей растворимостью элемента в жидкости, чем в твердой фазе.

Непосредственно к сварному шву примыкает участок *I*, металл которого в процессе сварки нагревался от температуры начала интенсивного роста зерна аустенита (1100-1200°C) до температуры плавления. Поэтому на участке *I* основной металл имеет по сравнению с исходной более крупную структуру. При длительном перегреве возможно образование так называемой *видманштетовой структуры* (крупные зерна перлита и иглообразного феррита). Зона перехода от оплавленных зерен основного металла к кристаллитам шва называется *зоной сплавления* (ширина 0,08-0,2 мм). Наиболее характерным свойством металла с такой структурой является пониженная ударная вязкость. Участок *I* – *участок крупного зерна* или *перегрева*.

На участке *II* металл в процессе сварки нагревался выше температуры критической точки A_{c3}, но ниже температуры перегрева. Переход при нагревании критической точки A_{c1} сопровождается образованием мелкого зерна аустенита. Растворение феррита в аустените при нагревании от точки A_{c1} до точки A_{c3} приводит к росту зерен аустенита. Поэтому при охлаждении на участке *II* образуется мелкозернистая структура, обеспечивающая металлу более высокую (по сравнению с исходной) вязкость. Участок *II* называют *участком мелкого зерна*.

Укрупнение зерна основного металла на участке перегрева *I* сопровождается уменьшением его пластичности и ударной вязкости; измельчение зерна на участке *II* приводит к повышению этих характеристик. Характеристики прочности (твердость металла, временное сопротивление, предел текучести) несколько снижаются на участке измельченного зерна *II*, но всегда возрастают на участке перегрева *I*. Повышение прочности металла вблизи шва объясняется тем, что он в процессе сварки подвергается не термической, а термопластической обработке (претерпевает сначала пластическое сжатие, а затем пластическое растяжение).

На участке *III* (нагрев в интервале критических точек A_{c1}–A_{c3}) происходит неполная перекристаллизация: зерна феррита остаются в исходном состоянии, а зерна перлита измельчаются. Участок *III* – это переходная область к основному металлу. Если сварке подвергается сталь или другой сплав, механические свойства которого обеспечиваются путем закалки и низкого отпуска, то в околошовной зоне наблюдается участок отпуска *IV* (на котором металл нагревался ниже точки A_{c1}) с пониженной твердостью и временным сопротивлением разрыву.

4.3 Сварка плавлением

Сварка плавлением осуществляется путем нагрева металла до жидкого состояния в месте соединения деталей. Источник энергии и способ ее преобразования в теплоту оказывают решающее влияние на размеры и форму шва, влияют на свойства сварных соединений. Исключительно высокая химическая активность расплавленного металла делает в большинстве случаев недопустимым контакт металла с воздухом, поэтому во избежание нежелательного изменения его химического состава сварку плавлением выполняют с применением защиты металла от воздуха: физической (газовой, шлаковой, комбинированной – газошлаковой) и химической (специальное легирование электрода).

Основными разновидностями сварки плавлением являются газовая, дуговая, плазменная, электрошлаковая, лазерная и др.

Газовая сварка обычно выполняется вручную и осуществляется пламенем сжигаемых с помощью специальной горелки горючих газов (рис. 30). Пламя плавит металл и защищает его от воздуха. В качестве горючего газа в основном применяют ацетилен (C_2H_2), окислителем служит чистый кислород. Ацетилен, сгорая в кислороде, дает наивысшую температуру пламени (3100-3200°С) по сравнению с другими горючими газами (водородом, парами бензина) и обеспечивает наиболее высокую производительность сварки.

В судостроительной промышленности газовая сварка применяется для изготовления мелких деталей из меди и ее сплавов, деталей из тонколистовой стали и при ремонтных работах, а также при восстановлении деталей из чугуна, силумина и т.п. Производительность газовой сварки значительно ниже, чем дуговой; ниже также и качество сварных соединений.

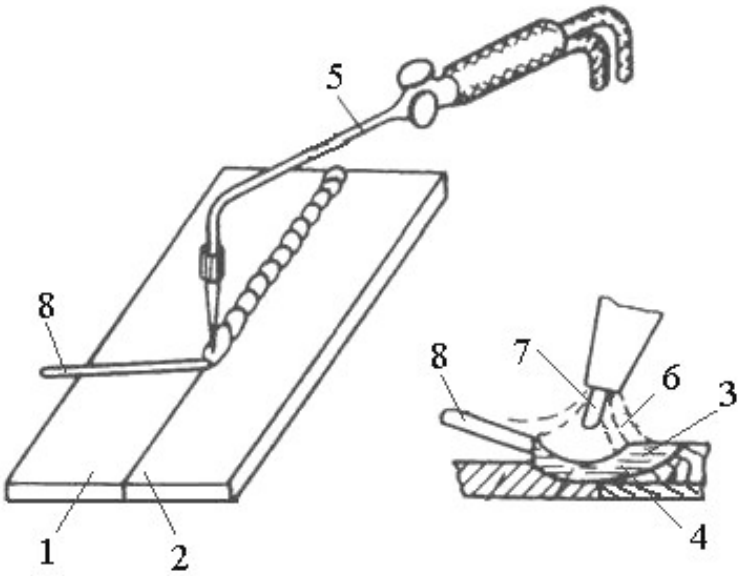


Рис. 30. Схема газовой сварки: 1, 2 – свариваемые детали; 3 – ванна жидкого металла; 4 – металл твердого шва; 5 – горелка; 6 – ацетилено-кислородное пламя; 7 – ядро пламени; 8 – присадочный пруток

Электрическая дуговая сварка. Электрическая дуга – самый универсальный и распространенный источник теплоты, используемый для сварки плавлением. В большинстве случаев применяют дугу прямого действия (дуга горит между электродами и изделием), реже – косвенного действия (дуга горит между электродами, располагающимися над изделием). В судостроении преимущественно применяются дуга прямого действия и плавящиеся электроды.

Дуговую сварку классифицируют по способу защиты дуги и расплавленного металла (сварка под флюсом, электрошлаковая сварка, сварка в среде защитных газов). По степени механизации процесса дуговую сварку подразделяют на ручную и автоматическую.

Ручная дуговая сварка выполняется сварочными электродами, которые подают вручную в дугу и перемещают вдоль заготовки. В процессе сварки металлическим покрытым электродом (рис. 31) дуга горит между стержнем электрода и основным металлом. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в сварочную ванну. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов.

При изготовлении стальных судовых конструкций объем использования ручной дуговой сварки (оцениваемый массой наплавляемого металла) составляет 25-35 %. В судовом машиностроении объем ручной дуговой сварки значительно больше.

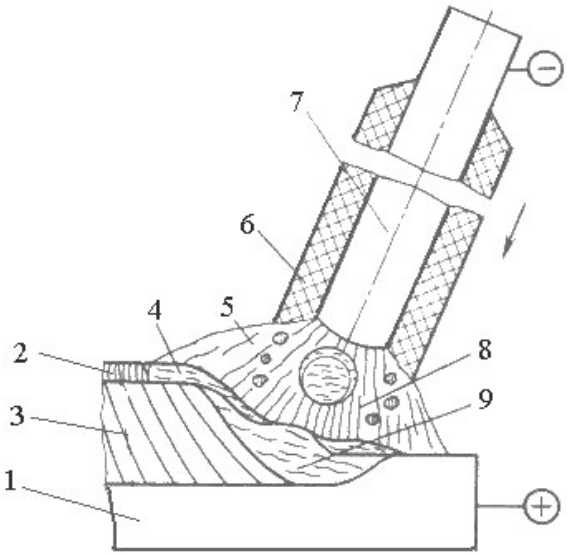


Рис. 31. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом:
1 – основной металл; 2 – шлаковая корка; 3 – сварной шов; 4 – шлаковая ванна;
5 – защитная газовая атмосфера; 6 – электродное покрытие; 7 – стержень электрода;
8 – дуга; 9 – сварочная ванна

Ручная сварка удобна при выполнении коротких криволинейных швов в любых пространственных положениях, применяется при выполнении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы. Сварку вручную иногда используют при исправлении дефектов латунного, бронзового, алюминиевого и чугунного литья.

Недостатком ручной сварки является малая производительность, значительные потери электродного металла (15-25 %) и плохие санитарно-гигиенические условия работы для сварщика.

Автоматическая дуговая сварка под флюсом. Для сварки используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха (рис. 32). Качество защиты при этом способе сварки лучше, чем при ручной дуговой сварке.

Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла. Дуга горит между проволокой и основным металлом. Проволоку подают в дугу с помощью механизма подачи. Столб дуги и металлическая ванна жидкого металла со всех сторон плотно закрыты слоем флюса толщиной 30-50 мм. Часть флюса плавится, и образуется жидкий шлак, защищающий жидкий металл от воздуха. По мере поступательного движения электрода металлическая и шлаковая ванны затвердевают с образованием сварного шва, покрытого твердой шлаковой коркой.

В судостроительной промышленности сварка под флюсом используется преимущественно при производстве стальных конструкций и деталей. Объем ее применения при изготовлении корпусов судов составляет 30-35 %.

Преимуществами автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной являются повышение производительности процесса сварки в 5-20 раз и качества сварных соединений, уменьшение себестоимости сварного шва.

Сварка покрытыми плавящимися электродами производится металлическим стержнем с нанесенным на него покрытием (покрытым электродом). Покрытие содержит вещества, необходимые для создания газовой и шлаковой защиты металла от воздуха и для физико-химической обработки жидкого металла с целью улучшения его качества.

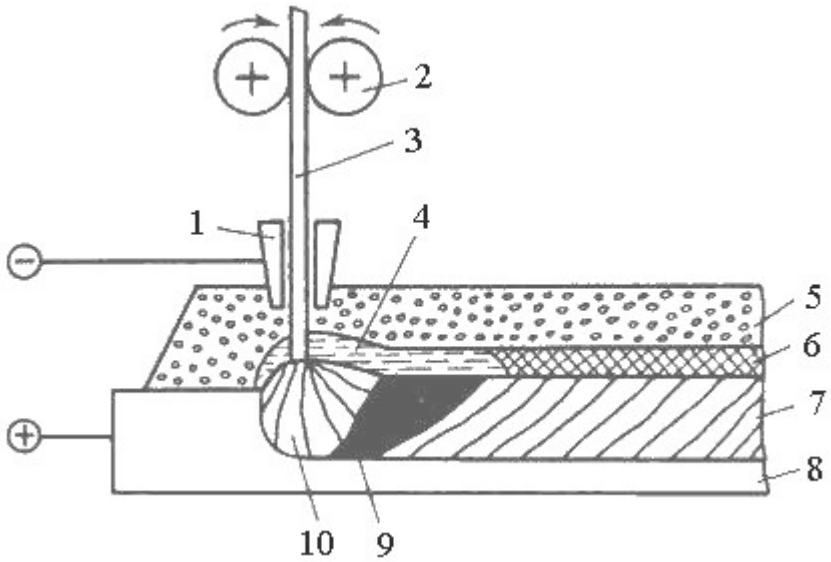


Рис. 32. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом: 1 – токопровод; 2 – механизм подачи проволоки; 3 – проволока; 4 – жидкий шлак; 5 – флюс; 6 –шлаковая корка; 7 – сварной шов; 8 – основной металл; 9 – ванна жидкого металла; 10 – дуга

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

Сварку в инертных газах выполняют неплавящимся и плавящимся электродами. В качестве неплавящегося электрода применяется пруток вольфрама, а в качестве плавящегося – проволока из основного металла или близкого ему по химическому составу. Область применения аргонодуговой сварки охватывает широкий круг материалов и изделий (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов). Аргонодуговую сварку применяют для легированных и высоколегированных сталей, цветных металлов и их сплавов.

Сварка в углекислом газе выполняется только плавящимся электродом. Защита сварочной ванны осуществляется углекислым газом. При нагреве углекислый газ диссоциирует на оксид углерода и кислород, который окисляет железо и легирующие элементы. Окисляющее действие кислорода нейтрализуется введением в проволоку дополнительного количества раскислителей. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей применяют сварочную проволоку с повышенным содержанием кремния и марганца. Хорошее качество сварного шва получается при использовании специальной порошковой проволоки. Обычно свариваются конструкции из углеродистых и низколегированных сталей (корпуса судов, газо- и нефтепроводы и т.п.).

Преимуществами данного способа являются низкая стоимость углекислого газа и высокая производительность. Основной недостаток – разбрызгивание металла (на зачистку расходуется 30-40 % времени сварки).

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

Применяют два основных плазменных источника нагрева: *плазменную струю* и *плазменную дугу*. Плазменная струя представляет собой независимый источник теплоты, позволяющий в широких пределах изменять степень нагрева и глубину проплавления поверхности заготовок. Тепловая мощность плазменной струи ограничена, и ее применяют для сварки и резки тонких металлических листов и неэлектропроводящих материалов, для напыления тугоплавки материалов. Плазменная дуга обладает большой тепловой мощностью, имеет более широкое применение: для сварки высоколегированной стали, сплавов титана, никеля, молибдена, вольфрама. Плазменную дугу применяют для резки материалов (меди, алюминия), наплавки тугоплавких материалов на поверхность. Плазменной дугой можно сваривать металл толщиной до 10 мм без разделки кромок и применения присадочного материала. Так как плазменная дуга обладает высокой стабильностью, то обеспечивается повышенное качество сварных швов. Это позволяет выполнять микроплазменную сварку металла толщиной 0,025-0,8 мм. Недостаток плазменной сварки – недолговечность горелок.

Электрошлаковая сварка. Сущность процесса заключается в том, что тепловую энергию, необходимую для расплавления основного и присадочного металла, дает теплота, выделяемая в объеме шлаковой ванны при прохождении через нее тока (рис. 33).

В процессе электрошлаковой сварки свариваемые заготовки устанавливают в вертикальном положении. В замкнутое пространство между водоохлаждаемыми медными ползунами и вертикально установленными кромками изделий засыпают флюс и подают электродную проволоку при помощи специального механизма подачи. В начале процесса возбуждают дугу, флюс плавится и образуется электропроводный шлак. Ток, проходя через шлак, разогревает его, что приводит к расплавлению кромок основного металла и электрода.

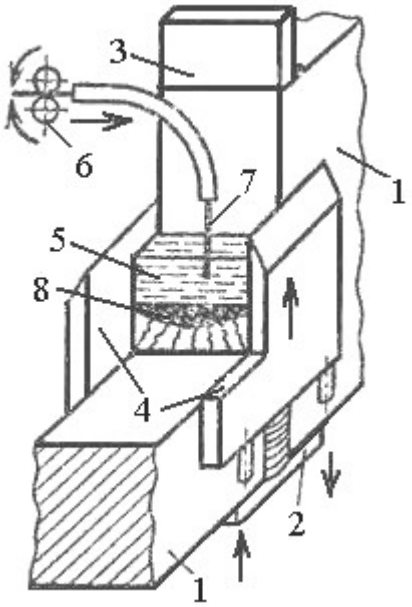


Рис. 33. Схема электрошлаковой сварки: 1 – заготовки; 2, 3 – специальные планки; 4 – ползуны; 5 – электропроводный шлак; 6 – механизм подачи; 7 – электродная проволока; 8 – сварочная ванна

Расплав стекает вниз, образует сварочную ванну, а затем затвердевает. В начальном и конечном участках шва образуются дефекты. В начале шва – непровар кромок, в конце шва – усадочная раковина и неметаллические включения. Поэтому сварку начинают и заканчивают на специальных планках, которые затем удаляют газовой резкой.

Электрошлаковую сварку широко применяют для изготовления коленчатых валов судовых дизелей, котлов высокого давления и т.п. Преимуществами данного вида сварки по сравнению с автоматической сваркой под флюсом являются возможность сварки металла любой толщины (с 16 мм), лучшая макроструктура шва и меньшие затраты на выполнение 1 м сварного шва. Недостаток способа заключается образование крупного зерна в шве и околошовной зоне вследствие замедленного нагрева и охлаждения. Поэтому после сварки необходима термическая обработка (отжиг или нормализация) для измельчения зерна в металле сварного соединения.

4.4 Сварка давлением

Сварка давлением осуществляется между холодными или нагретыми в зоне соединения деталями путем совместного их сжатия. Основное влияние на качество сварных соединений оказывают температура, степень деформации металла, время сварки (выдержки деталей в сжатом состоянии) и толщина пленки инородных веществ на соединяемых поверхностях.

Сварку давлением разделяют на сварку с предварительным подогревом и сварку без предварительного подогрева соединяемых деталей.

Сварка с предварительным подогревом (термомеханический класс)

К термомеханическому классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления (контактная, диффузионная и др.). Для большинства металлов и сплавов температура нагрева перед деформацией должна превышать температуру

рекристаллизации (0,4·$T_{пл}$ для чистых металлов или 0,6-0,9·$T_{пл}$ для сплавов, где $T_{пл}$ – температура плавления металла по абсолютной шкале), для некоторых сплавов местный нагрев осуществляется даже до $T_{пл}$.

Контактная сварка. Сварные соединения получаются в результате нагрева деталей проходящим через них током и последующей пластической деформации зоны соединения.

По виду получаемого соединения контактную сварку (рис. 34) подразделяют на *стыковую, точечную* и *шовную.*

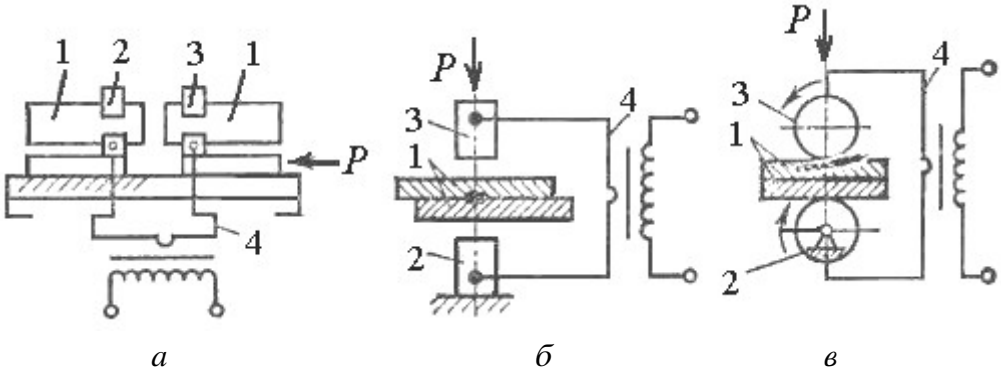


Рис. 34. Схемы контактной сварки: *а* – стыковой:1 – заготовки, 2 – неподвижный токоподвод, 3 – подвижный токоподвод, 4 – сварочный трансформатор; *б* – точечной: 1 – заготовки, 2 – неподвижный электрод, 3 – подвижный электрод, 4 – трансформатор; *в* – шовной: 1 – заготовки, 2 – неподвижный ролик-электрод, 3 – подвижный ролик-электрод, 4 – трансформатор

Стыковая контактная сварка (рис. 34,*а*) **–** способ соединения деталей по всей плоскости их касания. Свариваемые заготовки плотно зажимают в токоподводах, подключенных к вторичной обмотке сварочного трансформатора. Для обеспечения плотного электрического контакта свариваемые поверхности приводят в соприкосновение и сжимают. Затем включается ток. Поверхность контакта заготовок разогревается до требуемой температуры, ток отключается, производится сдавливание заготовок – осадка. Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют *сваркой сопротивлением,* а при разогреве торцов до оплавления с последующей осадкой – *сваркой оплавлением*. В результате пластической деформации и быстрой рекристаллизации в зоне образуются рекристаллизованные зерна из материала обеих деталей.

Сварка применяется для соединения встык деталей типа стержней, толстостенных труб, рельсов и т.п.

Точечная сварка (рис. 34,*б*) – способ изготовления листовых или стержневых конструкций, позволяющий получить прочные соединения в отдельных точках. Свариваемые заготовки, собранные внахлест, зажимают между электродами, подсоединенными к обмотке трансформатора. Электроды изнутри охлаждаются водой, нагрев локализуется на участках соприкосновения деталей между электродами. Получают линзу расплава требуемого размера, ток выключают, расплав затвердевает, образуется сварная точка. Электроды сжимают детали, пластически деформируя их.

Образующееся сварное соединение обладает большой прочностью и его можно применять для изготовления несущих конструкций. Этот способ широко применяют в авто- и вагоностроении, строительстве, а также при сборке электрических схем.

Шовная сварка (рис. 34,*в*) – способ соединения деталей швом, состоящим из отдельных сварных точек. Свариваемые заготовки помещают между двумя медные роликами-электродами, один из электродов может иметь вращательное движение, а другой – вращательное движение и перемещение в вертикальном направлении. Электроды подключаются к вторичной обмотке трансформатора. Электроды-ролики зажимают и передвигают деталь.

Шовная сварка обеспечивает получение прочных и герметичных соединений из листового материала толщиной до 5 мм. Способы применимы для сварки сталей, титановых и алюминиевых сплавов. В судостроении эти способы сварки используют для изготовления воздуховодов, выгородок, судового инвентаря. Контактная точечная и шовная сварка исключительно широко применяется в приборостроении, автомобилестроении, вагоностроении и самолетостроении.

Диффузионная сварка – способ сварки давлением в вакууме ($1{,}3\text{-}1{,}3\cdot10^{-2}$ Па) приложением сдавливающих сил при повышенной температуре. Свариваемые детали тщательно зачищают, сжимают, нагревают в вакууме специальным источником тепла до температуры рекристаллизации (0,4 $T_{пл}$), и длительно выдерживают. В начальной стадии процесса создаются условия для образования металлических связей между соединяемыми поверхностями. Низкое давление способствует удалению поверхностных пленок, а высокая температура и давление приводят к уменьшению неровностей поверхностей и сближению их до нужного расстояния. Затем протекают процессы диффузии в металле, образуются промежуточные слои, увеличивающие прочность соединения. Соединения получают при небольшой пластической деформации. Изменение размеров мало. Сварка может осуществляться в среде инертных и защитных газов.

Диффузионную сварку применяют для соединения сталей всех классов, сталей с многими цветными сплавами, с металлокерамикой. Незначительная и легко контролируемая деформация деталей позволяет получать сразу после сварки изделия с высоким классом точности. Диффузионная сварка широко применяется в космической технике, в электротехнической, радиотехнической и других отраслях промышленности.

Сварка без предварительного подогрева (механический класс)

К механическому классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления (трением, взрывом, ультразвуковая, холодная и др.).

Сварка трением – способ сварки давлением при воздействии теплоты, возникающей при трении свариваемых поверхностей. Свариваемые заготовки устанавливают соосно в зажимах машины, один из которых неподвижен, а другой может совершать вращательное и поступательное движения. Заготовки сжимаются осевым усилием, и включается механизм вращения. При достижении температуры 980-1300°С вращение заготовок прекращают при продолжении сжатия.

Сваркой трением сваривают заготовки диаметром 0,75-140 мм. Преимуществами способа являются простота, высокая производительность, малая энергоемкость, стабильность качества соединения и возможность сварки заготовок из разнородных материалов.

Сварка взрывом. В этой разновидности сварки давлением энергия, заключенная во взрывчатом веществе, частично сообщается струе воздуха, вытесняемого из зазора между деталями. Остальная энергия затрачивается на совместную деформацию и местный нагрев металла в стыке, в результате чего происходит образование сварного соединения. Продолжительность сварки несколько микросекунд. Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов.

Сварка взрывом позволяет получать высококачественные соединения разнородных металлов, характеризуется большой скоростью и надежностью и является перспективной для судового машиностроения, в частности, для нанесения на детали слоев со специальными свойствами. Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок для проката биметалла, плакировке поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами со специальными свойствами, при сварке заготовок из разнородных материалов.

4.5 Пайка

Пайка – процесс получения неразъемного соединения заготовок без их расплавления путем смачивания поверхностей жидким припоем с последующей его кристаллизацией. Расплавленный припой затекает в специально создаваемые зазоры между деталями и диффундирует в металл этих деталей. Протекает процесс взаимного растворения металла деталей и припоя, в результате чего образуется сплав, более прочный, чем припой. Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность и др.) зависят от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, типа соединения.

Припои представляют собой сплавы цветных металлов сложного состава. Припой должен хорошо растворять основной металл, обладать смачивающей способностью, быть дешевым и недефицитным. По температуре плавления припои подразделяют на особо легкоплавкие (температура плавления ниже 145°С), легкоплавкие (145-450°С), среднеплавкие (450-1100°С) и тугоплавкие (выше 1050°С). К особо легкоплавким и легкоплавким припоям относятся оловянно-свинцовые, на основе висмута, индия, олова, цинка, свинца. К среднеплавким и тугоплавким относятся припои медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной). Припои изготавливают в виде прутков, листов, проволок, полос, спиралей, дисков, колец, зерен, которые укладывают в место соединения.

При пайке применяются *флюсы* для защиты места спая от окисления при нагреве сборочной единицы, обеспечения лучшей смачиваемости места спая расплавленным металлом и растворения металлических окислов. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. Флюсы могут быть твердые, пастообразные и жидкие. Для пайки наиболее применимы флюсы: бура, плавиковый шпат, борная кислота, канифоль, хлористый цинк, фтористый калий.

Пайку точных соединений производят без флюсов в защитной атмосфере или в вакууме. В зависимости от способа нагрева различают пайку газовую, погружением (в металлическую или соляную ванну), электрическую (дуговая, индукционная, контактная), ультразвуковую.

В единичном и мелкосерийном производствах применяют пайку с местным нагревом посредством паяльника или газовой горелки. В крупносерийном и массовом производствах применяют нагрев в ваннах и газовых печах, электронагрев, импульсные паяльники, индукционный нагрев, нагрев токами высокой частоты.

Перспективным направлением развития технологии пайки металлических и неметаллических материалов является использование ультразвука.

Процесс пайки включает: подготовку сопрягаемых поверхностей деталей под пайку; сборку; нанесение флюса и припоя; нагрев места спая; промывку и зачистку шва. При пайке в процессе образования межатомных связей определяющую роль играет смачивание припоем поверхностей деталей, благодаря которому обеспечивается сближение частиц припоя и основного металла до значения параметра кристаллической решетки последнего.

Наличие на свариваемой поверхности окисных, жировых и других посторонних пленок ухудшает смачиваемость, поэтому детали перед пайкой обязательно проходят механическую или химическую очистку. Однако после очистки поверхности неизбежно адсорбируют кислород из окружающей их газовой среды. Доброкачественную пайку можно осуществить только применив те или иные средства удаления окисной пленки с поверхности в процессе пайки. Качество пайки в исключительно большой степени зависит от эффективности этих средств.

4.6 Материалы для сварки различных сплавов

В машиностроении и судостроении *для сварки алюминиевых сплавов* используют сварочную проволоку, флюсы, инертные газы и неплавящиеся вольфрамовые электроды. Покрытые электроды не применяются из-за низкого качества сварных соединений и плохих гигиенических условий сварки.

Обозначение марки сварочной проволоки состоит из букв «Св» (сварочная) и условных обозначений химических элементов и их концентрации, которые приняты для цветных сплавов (например, СвАМг7 – алюминиевая проволока, содержащая 7 % магния).

В качестве флюсов для дуговой и электрошлаковой сварки алюминиевых сплавов используют бескислородные смеси фторидов и хлоридов, обладающие повышенной химической активностью и способные разрушать пленку Al_2O_3. В качестве защитных газов обычно применяется аргон, реже гелий; в качестве неплавящихся электродов – вольфрамовые электроды.

Для сварки меди пригодны многие способы сварки, защитные газы и флюсы, используемые для сварки сталей. Обозначения сварочных проволок содержат в себе только указания о легирующих элементах и их концентрации, например МНЖКТ5-1-0,2-0,2 (медный сплав, легированный никелем, железом, кремнием и титаном).

Защитными газами для сварки медных сплавов являются аргон, иногда гелий. При сварке бронз используется азот; возможно применение углекислого газа в сочетании с проволокой, легированной Mn и Si.

В качестве флюсов для дуговой и электрошлаковой сварки используют плавленные флюсы, предназначенные для сварки углеродистых, легированных и высоколегированных сталей. Флюсы, предназначенные для сварки легированных и высоколегированных сталей типов АН-22, АН-26, применяются в сочетании с легированной медной проволокой (МНЖКТ5-1-

0,2-0,2; КМцЗ-1) для сварки медно-никелевых сплавов, бронз, а также для сварки чистой меди.

Титан и его сплавы преимущественно сваривают в инертных газах (аргоне, гелии) плавящимися и неплавящимися электродами. Разработана также электрошлаковая сварка и дуговая сварка под солевыми флюсами.

В качестве присадочной проволоки используется технический титан (марка ВТ-1) и проволока состава, близкого к составу свариваемых сплавов (ВТ-5, ОТ4-1 и др.).

4.7 Дефекты сварных соединений

Эксплуатационная надежность и экономичность сварных конструкций в значительной мере определяются качеством сварных соединений. Наличие в них дефектов может привести к снижению эксплуатационных характеристик конструкций: нарушение требуемой герметичности, понижение усталостной и статической прочности и т.д.

Дефекты сварных соединений в зависимости от места расположения и вида подразделяются на наружные и внутренние.

Наружными дефектами сварных соединений являются дефекты формы шва, неравномерность сечения швов по их длине и вогнутость корня шва, смещение продольной оси шва от заданного положения и незаваренные кратеры от предыдущего валика, наплывы металла шва и подрезы зоны сплавления. Наружные дефекты выявляются внешним осмотром и специальными методами. Внешним осмотром определяют качество подготовки и сборки деталей под сварку (смещение кромок листов, размеры зазора). Параметры швов измеряют с помощью шаблонов, поверхность шва оценивают путем сравнения с эталонами, для выявления дефектов пользуются лупой.

Такие наружные дефекты, как микротрещины, поры, могут быть обнаружены с помощью капиллярной дефектоскопии. Этот метод используют для контроля соединений из жаропрочных и специальных сплавов, теплоустойчивых сталей, применяемых в судовом энергомашиностроении.

Правила Регистра ограничивают допустимые размеры наружных дефектов. Так например не допускаются поры размерами более 0,1 толщины листа или 0,1 катета углового шва, но не более 2 мм; подрезы основного металла более 0,5 мм и длиной более 15 мм при суммарной протяженности подрезов не более 10 % длины шва.

В паяных соединениях внешними дефектами являются наплывы и натеки припоя, неполное заполнение шва припоем; внутренними – поры, включения флюса, трещины и др.

Внутренними дефектами являются газовые включения (поры) (рис. 35,*а*), твердые включения (шлак, инородный металл) (рис. 35, *б*), несплавления (в том числе и межваликовые при многослойной сварке) (рис. 35, *в*), непровары (рис. 35, *г*), внутренние трещины различного рода (рис. 35, *д*).

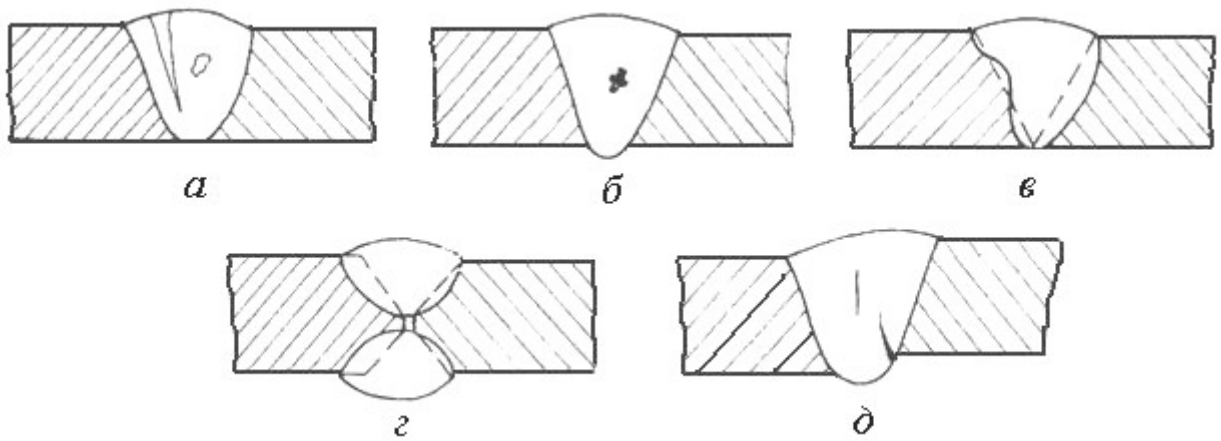


Рис. 35. Виды внутренних дефектов сварных соединений: *а* – поры и свищи; *б* – твердые включения (шлак); *в* – несплавление; *г* – непровар; *д* – трещина

Причинами возникновения внутренних дефектов служат физико-химические явления, протекающие в процессе образования сварного соединения. Ими вызываются трещины горячие (кристаллизационные и подсолидусные) и холодные, поры, несплавление. Причинами могут служить нарушения режима сварки, неправильная техника ее выполнения (непровары, подрезы, кратеры, прожоги и т.п.).

Внутренние дефекты обнаруживаются с помощью различных физических методов контроля (радиографический, радиоскопический, радиометрический и ультразвуковой методы).

Качество сварных и паяных соединений обеспечивают предварительным контролем материалов и заготовок, текущим контролем за процессом сварки и пайки и приемочным контролем готовых сварных или паяных соединений. В зависимости от нарушения целостности сварного соединения при контроле различают разрушающие и неразрушающие методы контроля.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается сущность процесса сварки?
2. Перечислите основные преимущества сварных соединений.
3. Что понимают под свариваемостью материалов?
4. На какие группы разделяют сварку в зависимости от способа образования физического контакта между деталями?
5. Объясните строение сварных и паяных соединений.
6. Что представляют собой зоны термического влияния?
7. Какие этапы включает в себя процесс образования шва при сварке плавлением? Опишите схему строения основного металла в зоне термического влияния.
8. В чем заключается сущность процесса сварки плавлением?
9. Опишите процесс газовой сварки и ее применение.
10. Охарактеризуйте разновидности дуговой сварки, в чем их особенности, достоинства и недостатки?
11. Что представляет собой плазменная сварка?

12. Опишите процесс электрошлаковой сварки?
13. В чем заключается сущность процесса сварки давлением?
14. Какие разновидности контактной сварки применяют в машиностроении и судостроении?
15. В чем состоит особенность диффузионной сварки?
16. Как осуществляется процесс пайки?
17. Приведите классификацию припоев.
18. Охарактеризуйте материалы, применяемые для сварки различных сплавов.
19. Перечислите дефекты сварных соединений. Назовите причины их появления.
20. Укажите способы обнаружения внешних и внутренних дефектов сварных соединений.

ГЛАВА 5 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Резание металлов – это обработка заготовки или предварительно обработанной детали снятием стружки (удаление припуска) для придания изделию заданных формы и размеров и обеспечения определенной технологией качества поверхности. Для уменьшения трудоемкости и себестоимости изготовления детали, а также ради экономии металла, размер припуска должен быть минимальным, но в то же время достаточным для получения хорошего качества детали и с необходимой шероховатостью поверхности. В современном машиностроении имеется тенденция снижать объем обработки металлов резанием за счет повышения точности исходных заготовок.

Заготовками для обработки резанием служат прокат, отливки, поковки, штамповки и др.

К резанию металлов относятся точение, строгание, долбление, протягивание, развертывание, шлифование, фрезерование, осуществляемые на металлорежущих станках или вручную металлорежущим инструментом.

Для снятия с обрабатываемого изделия стружки предназначен *режущий инструмент* (резец, фреза, сверло и т.п.). Материалы, предназначенные для режущих инструментов, должны по ряду показателей значительно превосходить материалы, применяемые для изготовления различных деталей.

5.1 Инструментальные материалы

5.1.1 Требования к инструментальным материалам

К основным требованиям, предъявляемым к инструментальным материалам, относятся высокая твердость, теплостойкость и износостойкость, определенные механические и технологические свойства, не дефицитность и дешевизна.

Высокая твердость в состоянии поставки или в результате термической обработки инструментального материала. Твердость должна быть не менее 63-66 $HRC_Э$ (примерно раза в 3 выше, чем твердость обрабатываемого материала).

Высокая теплостойкость. При резании выделяется значительное количество теплоты, и режущая часть инструмента нагревается. Температура рабочих поверхностей и режущих кромок инструмента зависит от условий, при которых ведется обработка, и может достигать несколько сот градусов. Инструмент иногда нагревается до 800°С и выше. Нагрев инструмента в основном зависит от скорости резания, следовательно, теплостойкость (красностойкость) определяет допустимую скорость резания данным материалом. *Теплостойкостью* называется способность материала сохранять высокую твердость при повышенных температурах и исходную твердость после охлаждения.

Необходимо, чтобы при значительных температурах резания твердость поверхности инструмента существенно не уменьшалась.

Инструментальные стали по теплостойкости подразделяют на группы:

- не обладающие теплостойкостью (углеродистые и легированные стали с хромом до 3-5 %);
- полутеплостойкие (стали, содержащие свыше 0,6-0,7 % C и 3-18 % Cr);
- теплостойкие (высоколегированные стали).

Высокая износостойкость при повышенной температуре, т.е. хорошая сопротивляемость истиранию обрабатываемым материалом. В результате работы может возникать как абразивный, так и адгезийный износ.

Для лезвийного инструмента необходима высокая *размерная стойкость* – сохранение размеров длительное время (резец необходимо менять через 90 минут).

Достаточные механические свойства (σ_B на изгиб, σ_B на разрыв, а также пластичность и вязкость). Высокая твердость материала рабочей части инструмента сопровождается значительной хрупкостью, что приводит к поломке инструмента и выкрашиванию режущих кромок

Технологические свойства, обеспечивающие оптимальные условия изготовления из материала инструмента. Для инструментальных сталей необходимые технологические свойства:

- хорошая обрабатываемость резанием и давлением;
- благоприятные особенности термообработки (малая чувствительность к перегреву и обезуглероживанию, хорошие закаливаемость и прокаливаемость, минимальные деформирование и образование трещин при закалке);
- хорошая шлифуемость после термообработки.

Не дефицитность и *дешевизна* инструментальных материалов.

Для твердых сплавов требования высокой твердости и теплостойкости менее существенны, но особое значение имеет хорошая шлифуемость, а также отсутствие трещин и других дефектов, которые возникают в твердом сплаве после припайки пластин, при шлифовании и заточке инструмента.

5.1.2 Виды инструментальных материалов и области их применения

Углеродистые инструментальные стали

Номенклатура инструментальных материалов разнообразна. Ранее других материалов для изготовления режущих инструментов начали применять углеродистые инструментальные стали марок У7-У13 и У7А-У13А. Помимо основных компонентов, эти стали содержат 0,2-0,4 % Mn и обладают высокой твердостью и прочностью, хорошо шлифуются при изготовлении инструмента, дешевы и не дефицитны.

Стали марок У7, У8, У9, У7А, У8А, У9А имеют более высокую вязкость и применяют для изготовления рубящего инструмента (ударного) для работы по дереву (зубила, молотки, крецмейстеры). Из них также изготавливают пуансоны и кузнечные штампы. Стали марок У10-У13 и У10А-У13А обладают более высокой твердостью и износостойкостью. Их применяют для изготовления режущего инструмента (напильники, ножовочные полотна, стамески долота, сверла по дереву и для мягких цветных металлов, фрезы для мягких цветных металлов).

Для изготовления инструмента заготовки подвергают отжигу на зернистый перлит. Для придания рабочих свойств инструмент подвергают закалке и низкому отпуску. После термо-

обработки твердость составляет 62-64 $HRC_э$, для ударного инструмента температура отпуска 280-300°С и твердость 56-58 $HRC_э$. Теплостойкость составляет всего 200-250°С, скорость резания допускается 15-18 м/мин.

Легированные инструментальные стали

Легированные инструментальные стали созданы на базе стали марки У10. Суммарное содержание легирующих элементов не более 5 % (Si, Mn, Cr, Mo, W, V, Ti, и т.д.) Высокая твердость и износостойкость определяется содержанием углерода (~ 0,9-1,4 %) и мало зависит от легирующих элементов. Легирующие элементы вводят для повышения закаливаемости, сохранения мелкозернистости и улучшения прочности и вязкости:

хром увеличивает прокаливаемость, прочность и коррозионную стойкость, но понижает пластичность;

никель повышает прочность, пластичность, ударную вязкость и прокаливаемость материала;

вольфрам повышает твердость и теплостойкость материала;

ванадий повышает прочность и твердость, способствуя образованию мелкозернистой структуры;

кобальт увеличивает ударную вязкость и жаропрочность материала;

молибден повышает упругость, прочность и теплостойкость материала;

марганец и *кремний*, являясь легирующими элементами при содержании Mn более 1 %, а Si – более 0,5 %, вводятся для увеличения прокаливаемости.

Легированных инструментальных сталей существует более 20 марок: Х, 9ХС, ХВГ, ХВ4, ХВ5, ХВСГ, 9ХФ, 11ХФ, 13Х, В2Ф и др. Эти стали по сравнению с углеродистыми инструментальными сталями обладают более высокими технологическими свойствами – лучшей закаливаемостью и прокаливаемостью, меньшей склонностью к короблению.

Для получения эксплуатационных свойств инструменты подвергают термической обработке: закалке и низкому отпуску. После закалки и низкого отпуска твердость 63-67 $HRC_э$. Для снятия закалочных напряжений, иногда для повышения вязкости температуру отпуска повышают до 300°С (в этом случае после отпуска твердость составляет 55-60 $HRC_э$).

Теплостойкость невысокая (250-300°С), поэтому эти стали не применяют для обработки с большими скоростями резания. Скорость резания составляет всего 18-25 м/мин. Из этих сталей изготавливают любой слесарный инструмент (рубящий, ударный, режущий), резцы, фрезы и сверла.

Быстрорежущие инструментальные стали

Из группы высоколегированных сталей для изготовления режущих инструментов широко используются быстрорежущие стали с высоким содержанием W, Mo, Co, V.

Современные быстрорежущие стали можно разделить на 3 группы:

нормальной теплостойкости. К этим сталям относятся вольфрамовые и вольфрамомолибденовые стали марок Р18, Р12, Р9, Р6М5, Р8М3 и др. Для придания эксплуатационных свойств инструмент из этих сталей подвергают сложной термообработке – закалке и 2-3-х кратному отпуску. Нагрев под закалку проводят в соляных ваннах для улучшения равномерности прогрева и уменьшения возможности обезуглероживания поверхности.

Твердость после термической обработки – 63-67 $HRC_Э$. Температура красностойкости составляет 550°С, скорость резания 70 м/мин.

Стали нормальной теплостойкости получили наиболее широкое распространение при изготовлении режущих инструментов для обработки конструкционных сталей, чугунов, цветных металлов и пластмасс. Из-за высокой стоимости и дефицитности вольфрама из быстрорежущих сталей изготавливают только рабочую часть инструмента, которую прикрепляют к державке из обычной углеродистой инструментальной стали.

Иногда применяют быстрорежущие стали, дополнительно легированные азотом (Р6АМ5, Р18А) и являющиеся модификациями обычных быстрорежущих сталей. Легирование азотом повышает режущие свойства инструмента на 20-30 %, твердость на 1-2 $HRC_Э$;

повышенной теплостойкости. Эти стали имеют повышенное содержание углерода – 10Р8М3, 10Р6М5; ванадия – Р12Ф3, Р2М3Ф8, Р9Ф5; кобальта – Р18Ф2К5, Р6М5К5, Р9К5, Р9К10, Р9М4К8Ф, 10Р6М5Ф2К8 и др.

Легирование W и Cr сохраняет твердость и увеличивает теплостойкость. Co увеличивает теплостойкость до 650°С и вторичную твердость до 67-70 $HRC_Э$. Ванадий увеличивает износостойкость, но ухудшает шлифуемость.

Для этих сталей после закалки применяют обработку холодом для повышения эксплуатационных свойств. Более высокая твердость и теплостойкость дает возможность применять инструмент из этих сталей для обработки жаропрочных и нержавеющих сталей и сплавов, а также закаленных и конструкционных сталей повышенной прочности. Период стойкости инструментов из таких сталей в 3-5 раз выше, чем из сталей Р18 и Р6М5;

высокой теплостойкости. Эти стали характеризуются пониженным содержанием углерода, но высоким количеством легирующих элементов, например, сталь марки В11М7К23 содержит 0,1 % С, 11 % W, 0,5 % V, 7 % Mo и 23 % Co, ЗВ20К20Х4Ф – 0,25 % С, 20 % W, 4 % Cr, 1 % V и 20 % Co.

Твердость этих сталей составляет 69-70 $HRC_Э$ и теплостойкость 700-720°С. Наиболее рациональная область их использования – резание трудно обрабатываемых материалов и титановых сплавов. При обработке титановых сплавов период стойкости инструментов из сталей высокой теплостойкости в 30-80 раз выше, чем из стали Р18. При резании конструкционных сталей и чугунов период стойкости возрастает в 3-8 раз.

В связи с дефицитом вольфрама разрабатываются инструментальные безвольфрамовые материалы, в том числе быстрорежущие стали. К таким сталям относятся мало вольфрамовые стали марок Р2М5, Р3М3Ф4К5, Р2М3Ф8, А11Р3М3Ф2 (W до 3 %) и безвольфрамовая сталь марки 11М5Ф, содержащая 1 % С, 3,8 % Cr, 1,2 % V и 5,1 % Mo. Эксплуатационные свойства этих сталей близки к свойствам традиционных быстрорежущих сталей.

Перспективным направлением в повышении качества быстрорежущих сталей является получение их методами порошковой металлургии. Стали марок Р6М5К5П (П – порошковая), Р9М4К8П и Р12М3Ф3К10П имеют однородную мелкозернистую структуру, хорошо шлифуются, меньше деформируются при термической обработке, отличаются стабильностью эксплуатационных свойств. Период стойкости режущих инструментов из таких сталей возрастает в 1,5 раза. Наряду с порошковыми быстрорежущими сталями хорошо зарекомендовали себя

так называемые *карбидостали*, содержащие до 20 % TiC и по служебным характеристикам занимающие промежуточное место между быстрорежущими сталями и твердыми сплавами.

Твердые сплавы

Твердые сплавы получают методами порошковой металлургии в виде пластин или коронок (пластинки из твердых сплавов напаивают на державки). Из них изготавливают любой режущий инструмент. Основными компонентами таких сплавов являются карбиды вольфрама, титана, тантала и ниобия, мельчайшие частицы которых соединены посредством сравнительно мягких и менее тугоплавких частиц Co или Ni в смеси с Mo.

Термической обработке твердые сплавы не подвергаются, эксплуатационные свойства получают непосредственно в процессе изготовления. Температура спекания – 1500-2000°С.

Твердые сплавы имеют высокую твердость – 88-92 HRA (72-76 $HRC_Э$) и теплостойкость до 850-1000°С. Это позволяет инструменту, изготовленному из твердых сплавов, работать со скоростями резания в 3-4 раза большими, чем инструментами из быстрорежущих сталей. Скорости резания от 150 до 1000 м/мин.

Применяемые в настоящее время твердые сплавы делятся на:

однокарбидные (вольфрамовые) сплавы группы ВК (ВК3, ВК6, ВК6-М, ВК6-ОМ, ВК8). В условном обозначении цифра показывает процентное содержание Co. Например, обозначение ВК8 – 8 % Co и 92 % WC. Буквами М и ОМ обозначается мелкозернистая и особомелкозернистая структура.

Инструменты из твердых сплавов группы ВК применяют для обработки деталей из конструкционных сталей в условиях низкой жесткости системы СПИД, при прерывистом резании, при работе с ударами, а также при обработке хрупких материалов типа чугуна, что обусловлено повышенной производительностью этой группы твердых сплавов и невысокими температурами в зоне резания. Используют эти сплавы для обработки бронз, стекол, резин (ВК3) и пластмасс. Однокарбидные сплавы применяют также при обработке деталей из высокопрочных, жаропрочных и нержавеющих сталей, титановых сплавов;

двухкарбидные (*титановольфрамовые*) *сплавы группы ТК* (Т5К10, Т15К6, Т14К8, Т60К6). В обозначении цифра, стоящая после буквы *Т*, показывает процентное содержание карбида титана, после буквы *К* – Co, остальное – карбид вольфрама. Например, Т30К4: 30 % TiC, 4 % Co и 66 % WC.

Сплавы этой группы применяют для обработки пластичных материалов низкой и средней прочности. Они имеют более высокую теплостойкость, чем группа ВК, и могут использоваться при высоких скоростях резания, поэтому их широко применяют при обработке сталей. Используют для чистового точения, фрезерования и зенкерования углеродных и легированных сталей;

трехкарбидные (титанотанталовольфрамовые) сплавы группы ТТК (ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9). В условном обозначении цифры, стоящие после букв *ТТ*, показывают суммарное процентное содержание карбидов титана и тантала, после буквы *К* – Co, остальное – карбиды вольфрама. Например, ТТ20К9: 20 % суммарное содержание TiC и TaC, 9 % Co и 71 % WC.

Сплавы этой группы применяют для обработки высокопрочных сталей и материалов. Введение в твердый сплав карбидов тантала или карбидов тантала и ниобия (ТТ10К8-Б) по-

вышает его прочность. Поэтому трех- и четырехкарбидные твердые сплавы применяются для инструментов, работающих с ударами и по загрязненной корке. Однако температура теплостойкости этих сплавов ниже, чем сплавов группы ТК.

Твердые сплавы выпускаются в виде стандартизованных пластин, которые припаиваются, приклеиваются или крепятся механически к державкам из конструкционной стали. Выпускаются также инструменты, рабочая часть которых целиком выполнена из твердого сплава (монолитные).

Правильным выбором марки твердого сплава обеспечивается эффективная эксплуатация режущих инструментов. Для конкретного случая обработки сплав выбирают исходя из оптимального сочетания его теплостойкости и прочности.

Минералокерамика

Минералокерамика, не содержащая дорогостоящих и дефицитных элементов, имеет следующие основные преимущества: повышенную производительность и качество обработки, стабильность цен и практически неограниченные сырьевые ресурсы исходных материалов.

Основу минералокерамики составляют оксиды алюминия Al_2O_3 с небольшой добавкой (0,5-1 %) оксида магния MgO. Высокая твердость минералокерамики, теплостойкость до 1200°С, химическая инертность к металлу, сопротивление окислению во многом превосходят эти же параметры твердых сплавов. Однако минералокерамика уступает этим сплавам по теплопроводности, имеет более низкий предел прочности на изгиб. Твердость минералокерамики составляет 90-96 HRA, значения σ_B при изгибе 295-700 МПа (значения σ_B при изгибе твердых сплавов σ_B до 1700 МПа).

Минералокерамику на основе Al_2O_3 можно разделить на три группы:

чисто *оксидная* (*«белая»)* керамика, основу которой составляет Al_2O_3 (до 99,7 %) с незначительными добавками MgO, ZnO_2 и др.;

смешанная керамика, представляющая собой Al_2O_3 с добавлением тугоплавких металлов (Ti, Nb и др.);

оксидно-карбидная (*«черная»*) керамика – Al_2O_3 с добавлением карбидов тугоплавких металлов (Ti, W, Mo) для повышения ее прочностных свойств и твердости.

Пластины из «белой» керамики получают холодным прессованием с последующим спеканием. Процесс экономичен, стоимость таких пластин минимальна. Основной недостаток этих пластин относительно небольшая прочность, но твердость (91-92 HRA – Россия, 93-94 – Япония, США) и красностойкость их велики. Представители этой керамики, например, ЦМ-332 (Al_2O_3 + 1 % MgO) и ВО-13 (более 99 % Al_2O_3) – Россия и зарубежные СХЗ (Япония), V-34 – США.

Пластины из «смешанной» и «черной» керамики получают горячим прессованием, процесс более трудоемок. Отечественная керамика – ВОК-60 ($Al_2O_3 \geq 60$ %, TiC < 40 % и др.), К090 (Al_2O_3 + TiC) – США и др.

Наряду с материалами на основе оксида алюминия выпускается материал на основе *нитрида кремния* Si_3N_4 – *силинит-Р* (метод получения – горячее прессование) и *кортинит ОНТ-20* с добавками Al_2O_3+TiC. Значения твердости для силинита-Р – 94-96 HRA, а σ_B при изгибе – 500-700 МПа.

Существенный недостаток керамики – хрупкость (чувствительность к механическим и термическим ударным нагрузкам). Качество и стабильность режущих пластин в значительной степени зависят от содержания Al_2O_3 и TiC в исходной шихте, времени размола смеси, температуры и времени выдержки при горячем прессовании, а также от значения давления при прессовании.

Высокие режущие свойства инструментов из минералокерамики проявляются при скоростной обработке сталей и высокопрочных чугунов, причем чистовое и получистовое точение и фрезерование повышает производительность обработки деталей в 2 раза при одновременном возрастании периода стойкости инструмента в 5 раз по сравнению с обработкой инструментами из твердых сплавов. Минералокерамика выпускается в виде неперетачиваемых пластин, что существенно облегчает условия ее эксплуатации.

Допустимые скорости резания при использовании керамики составляют до 800-1000 м/мин.

Применение керамики в каждом конкретном случае корректируют в зависимости от конкретных условий обработки:

«белая» керамика применяется для чистовой и получистовой обработки нетермообработанных сталей, серых чугунов;

«черная» керамика – для чистовой, получистовой обработки ковких, высокопрочных и отбеленных чугунов, закаленных сталей, для обработки цветных металлов на основе меди;

нитридная керамика – для получистовой обработки чугунов.

Сверхтвердые инструментальные материалы (*СТМ*)

Одним из направлений совершенствования режущих свойств инструментов, позволяющих повысить производительность труда при механической обработке, является повышение твердости и теплостойкости инструментальных материалов. Наиболее перспективными в этом отношении являются СТМ на основе алмаза или нитрида бора.

Алмазы и алмазные инструменты широко используются при обработке деталей из различных материалов. Для алмазов характерна исключительно высокая твердость и износостойкость. По абсолютной твердости алмаз в 4-5 раз тверже твердых сплавов и в десятки-сотни раз превышает износостойкость других инструментальных материалов при обработке цветных сплавов и пластмасс. Кроме того, вследствие высокой теплопроводности алмазы лучше отводят теплоту из зоны трения, что способствует гарантированному получению деталей с бесприжоговой поверхностью. Однако алмазы весьма хрупкие, что сильно сужает область их применения.

Для изготовления режущих инструментов основное применение получили искусственные алмазы, которые по своим свойствам близки к естественным. Масса одного искусственного алмаза обычно составляет 1/8-1/10 карата (1 карат – 0,2 г). Вследствие малости размеров искусственных кристаллов они непригодны для изготовления таких инструментов, как сверла, резцы и другие, поэтому применяются при изготовлении порошков для алмазных шлифовальных кругов и притирочных паст.

Алмаз как инструментальный материал имеет существенный недостаток, при повышенной температуре он вступает в химическую реакцию с Fe и теряет работоспособность. Для того чтобы обрабатывать стали и чугуны были созданы СТМ, химически инертные по отноше-

нию к железу. СТМ получены по технологии, близкой к технологии получения алмазов, но в качестве исходного вещества используется *нитрид бора*. Поликристаллы плотных модификаций нитрида бора превосходят по теплостойкости все материалы, применяемые для лезвийного инструмента: алмаз в 1,9 раза, быстрорежущую сталь в 2,3 раза, твердый сплав в 1,7 раза, минералокерамику в 1,2 раза. Инструментальные материалы на основе нитрида бора выдерживают температуры от 600 до 1450°С, что объясняется сложностью физико-химических процессов, происходящих при нагреве нитрида бора. Эти минералы изотропные (одинаковая прочность в различных направлениях). Они обладают меньшей микротвердостью, но близкой к твердости алмаза, повышенной теплостойкостью, высокой теплопроводностью и химической инертностью по отношению к углероду и железу.

Эффективность применения лезвийных инструментов из различных марок композитов определяется конструкцией инструмента, технологией его изготовления и рациональной областью использования. Композиты 01 (эльбор-Р) и 02 (бельбор) используют для тонкого и чистового точения и фрезерования без ударов деталей из закаленных сталей твердостью 55-70 $HRC_Э$, чугунов и твердых сплавов ВК15, ВК20 и ВК25 с подачами до 0,2 мм/об и глубиной резания до 0,8 мм. Композит 05 применяют для чистового и получистового точения без ударов деталей из закаленных сталей твердостью 40-58 $HRC_Э$, чугунов твердостью до 300 НВ с подачами до 0,25 мм/об и глубиной до 2,5 мм. Композит 10 (гексанит-Р) используют для тонкого, чистового и получистового точения и фрезерования с ударами деталей из закаленных сталей твердостью не выше 58 $HRC_Э$, чугунов, сплавов ВК15, ВК20, ВК25 с подачей до 0,15 мм/об и глубиной резания до 0,6 мм. При этом период стойкости инструментов возрастает в десятки раз по сравнению с другими инструментальными материалами.

Область применения СТМ до недавнего времени ограничивалась из-за сравнительно небольших размеров поликристаллов. В настоящее время освоен выпуск двухслойных неперетачиваемых пластин, состоящих из твердого сплава (основа) и слоя из поликристаллов алмазов или нитрида бора толщиной до 0,5 мм, что повышает общую эффективность использования инструментов СТМ.

Монокристаллические материалы

В последние годы в качестве инструментальных материалов находят применение синтетический корунд в виде рубина, а также монокристаллы бесцветного корунда или лейкосапфиры. Рубин представляет модификацию α-Al_2O_3 с небольшими примесями Cr, лейкосапфир – синтетический монокристалл в виде α-модификации, который почти не содержит примесей. Последний имеет более высокие механические свойства, чем рубин, и находит более широкое применение. Инструменты, изготовленные из монокристаллов корунда, рекомендуется использовать для тонкой обработки цветных металлов, сталей и чугунов.

5.2 Металлорежущие станки

Металлорежущие станки представляют собой машины для изготовления частей других машин в основном путем снятия с заготовки стружки режущим инструментом. В основу классификации металлорежущих станков положен технологический метод обработки заготовок (вид режущего инструмента, характер обрабатываемых поверхностей, схема обработки).

По классификации, принятой ЭНИМС (экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков), все металлорежущие станки делят на 10 групп. Каждая группа включает 10 типов, каждый тип имеет 10 типоразмеров. Обозначение станка включает 3-4 цифры.

Первая цифра обозначает *группу*. Группа – общность технологического метода обработки: 1 группа – токарные; 2 – сверлильные и расточные; 3 – шлифовальные, полировальные, доводочные; 4 – комбинированные; 5 – зубо- и резьбообрабатывающие; 6 – фрезерные; 7 – строгальные, долбежные, протяжные; 8 – разрезные (обрезные) ; 9 – разные (опиловочные, делительные и др.); 0 – резервные (для новых типов станков).

Вторая цифра обозначает *тип* станка. Тип характеризует назначение, степень универсальности, число рабочих органов, конструктивные особенности (автоматы или полуавтоматы, горизонтальные, радиальные или вертикальные).

Третья (иногда и четвертая цифра) – *типоразмер*. Типоразмер является технической характеристикой станков и показывает условный размер станка. Например, для токарного станка типоразмер – высота центров, для сверлильного – максимальный диаметр сверления, для фрезерного – ширина стола.

Между цифрами или в конце обозначения ставят буквы (А, К, М, Н и др.). Буква между цифрами позволяет различать станки одного типоразмера, но с разными техническими характеристиками (модернизация). *Модернизация* – введение различных технических усовершенствований (например, станок марки 1Д62 имеет число оборотов (n) равное 600 об/мин; 1А62 – n=1200 об/мин; 1К62 – n=2000 об/мин). Буква в конце марки указывает на различные модификации станков одной базовой модели. *Модификация* – это видоизменение, характеризующееся появлением новых свойств, например, станок марки 1К62Б – повышенной точности, а станок 1К62ПУ – с программным управлением.

Металлорежущие станки также классифицируют по назначению, степени автоматизации и точности, массе и компоновке основных рабочих органов.

По назначению станки делят на станки универсальные, широкоуниверсальные, широкого назначения, специализированные и специальные.

Универсальные станки позволяют обрабатывать различные заготовки разнотипным инструментом. Заготовки существенно различаются по размерам, форме и расположению поверхностей. *Широкоуниверсальные* станки отличаются особо большим многообразием выполняемых видов работ. Станки *широкого назначения* характеризуются однотипностью применяемого инструмента. *Специализированные* станки (например, трубоподрезные) предназначены для обработки однотипных заготовок (труб) различных диаметров (размеров). *Специальные* станки – для выполнения определенного вида работ (обрабатывают детали по одному чертежу).

По *степени автоматизации* станки подразделяют на станки с ручным управлением, полуавтоматы, автоматы и с программным управлением.

По *степени точности* существует пять классов станков для обработки заготовок с различной точностью: станки нормальной точности (Н), повышенной (П), высокой (В), особо высокой (А), особо точные (С).

По *массе* станки подразделяют на легкие (до 1 т), средние (до 10 т), тяжелые (свыше 10 т) и уникальные (свыше 100 т).

По *компоновке основных рабочих органов*: горизонтальные и вертикальные станки.

В механических мастерских судостроительных заводов, судоремонтных мастерских чаще всего встречаются разрезные, сверлильные, токарные, фрезерные и шлифовальные станки.

Для срезывания с заготовки слоя металла режущему инструменту и заготовке необходимо сообщать относительные движения. Инструмент и заготовку устанавливают на рабочих органах станков, обеспечивающих движение. *Установочные движения* – движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее определенного слоя металла. *Вспомогательные движения* – транспортирование заготовки, закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов.

Движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя материала или вызывают изменение состояния обработанной поверхности заготовки, называют *движениями резания*: скорость деформирования материала и отделения стружки определяет *главное движение*; врезание режущей кромки инструмента в материал заготовки обеспечивает *движение подачи*.

Движения могут быть непрерывными или прерывистыми, а по характеру – вращательными, поступательными, возвратно-поступательными.

Движения подачи: продольное, поперечное, вертикальное, круговое, окружное, тангенциальное.

В процессе резания (рис. 36) на заготовке различают поверхности: обрабатываемую (1), обработанную (3) и резания (2).

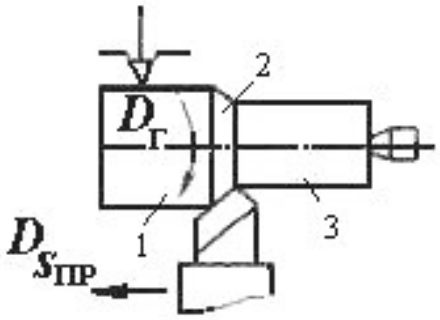


Рис. 36. Схема обработки заготовки точением

При назначении режимов резания определяют скорости главного движения резания и подачи и глубину резания.

Скоростью главного движения называют расстояние, пройденное точкой режущей кромки инструмента в единицу времени (м/с). *Подача* – это путь точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один ход заготовки или инструмента. В зависимости от технологического метода обработки подачу измеряют: мм/об – точение и сверление и мм/дв. ход – строгание и шлифование. *Глубина резания* – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к обработанной поверхности (мм).

Характеристикой качества поверхностного слоя заготовки является *шероховатость*, представляющая собой совокупность неровностей с относительно малыми шагами.

Для разрезания и распиловки сортового проката (прутков, уголков, швеллеров, балок) предназначены *разрезные станки*, режущим инструментом в которых служат сегментная дисковая пила, абразивные диски или ножовочное полотно. Главное движение – вращение диска или возвратно-поступательное движение ножовочного полотна. Автоматические разрезные станки работают на разных скоростях, оборудуются устройствами периодической подачи заготовки и системами двухкоординатного управления рабочим столом.

5.2.1 Токарные станки

Точение – операция обработки тел вращения, винтовых и спиральных поверхностей резанием при помощи режущего инструмента на станках токарной группы. В станках токарной группы главное движение – движение вращения заготовки, движение подачи – движение инструмента (резца).

Основные операции, выполняемые на токарных станках – обтачивание наружных цилиндрических, конических и фасонных поверхностей и галтелей; подрезание торцов; протачивание канавок; растачивание внутренних цилиндрических поверхностей; обрезание; сверление; зенкерование; зенкование; развертывание отверстий и нарезание резьбы.

Главным принципом классификации резцов является их технологическое назначение. Различают резцы *проходные* – для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей; *расточные* – проходные и упорные – для растачивания глухих и сквозных отверстий; *отрезные* – для отрезания заготовок; *резьбовые* – для нарезания наружных и внутренних резьб; *фасонные* – для обработки фасонных поверхностей; *прорезные* – для протачивания кольцевых канавок и *галтельные* – для обтачивания переходных поверхностей между ступенями валов по радиусу.

По характеру обработки резцы классифицируют на *черновые*, *получистовые* и чистовые. По расположению режущей кромки резцы подразделяют на *левые* и *правые*. Правые перемещаются от задней бабки к передней, левые – от передней к задней. По форме режущей части – *прямые* и *отогнутые*. *По конструкции* – целые, с приваренной или припаянной пластиной, со сменными пластинами.

Помимо резцов, на токарных станках для обработки отверстий применяют сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки, которые закрепляются в задней бабке.

К основным приспособлениям, применяемым на токарных станках, относят: *трехкулачковый самоцентрирующийся патрон* – для закрепления заготовок; *цанговый патрон* – для закрепления заготовок (прутковый прокат) в автоматах и полуавтоматах; *конические оправки*, *цанговые оправки*, *упругие оправки* с гидропластмассой или с тарельчатыми пружинами – для обработки заготовок типа втулок, колец и стаканов.

Существуют токарные станки разных видов, типов и размеров. К станкам токарной группы можно отнести: токарные, токарно-винто-резные, карусельные, многорезцовые, токарно-револьверные, токарные автоматы, полуавтоматы и др. *Токарно-винторезный* станок (рис. 37) является универсальным, так как применяется для выполнения самых разнообразных токарных работ. Наиболее распространены токарно-винторезные станки, на которых обрабатываются всевозможные поверхности вращения, отверстия и резьбы.

Заготовка на станке устанавливается в центрах или закрепляется на шпинделе в патроне и приводится во вращение. В резцедержателе суппорта закрепляются резцы, а в конус пиноли задней бабки вставляются инструменты для обработки отверстий – сверла, зенкеры, развертки.

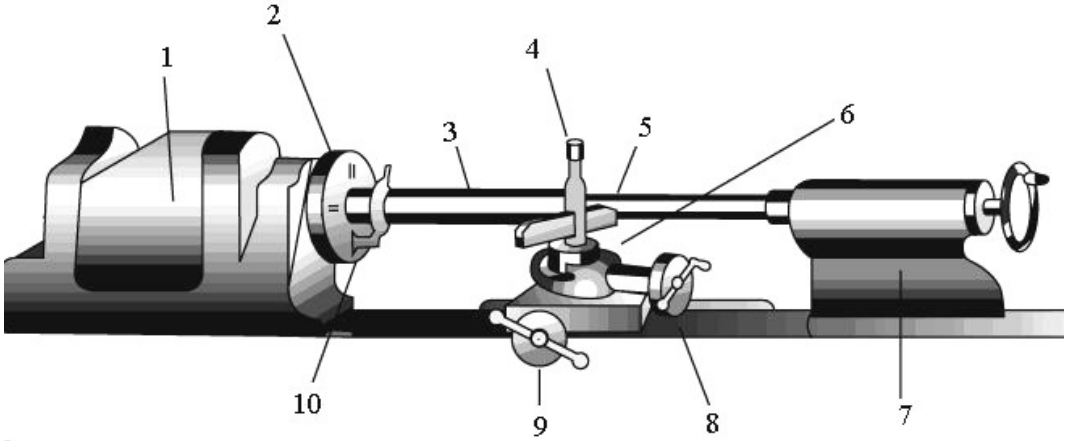


Рис. 37. Схема универсального токарно-винторезного станка: 1 – передняя бабка; 2 – планшайба; 3 – деталь (вал); 4 – резцедержатель; 5 – резец; 6 – суппорт; 7 – задняя бабка; 8 – делительная головка; 9 – поперечная подача; 10 – токарный хомутик

Карусельный станок используется для обработки крупных деталей большого диаметра. На них обтачивают и растачивают цилиндрические, конические и фасонные поверхности, производят подрезку торцов. *Многорезцовые* токарные станки позволяют обрабатывать детали, например ступенчатые валы или диски, одновременно несколькими резцами. Большое распространение они получили в массовом производстве. *Револьверные* станки используются главным образом для обработки некрупных деталей сложной конфигурации. *Токарные автоматы* – станки, на которых установка и закрепление заготовок, основные вспомогательные движения автоматизированы. Рабочий ведет лишь наблюдение за их работой, периодически загружает станок заготовками и контролирует размеры. *Полуавтоматы* – станки, у которых все движения автоматизированы. Заготовки на них устанавливает и снимает рабочий.

5.2.2 Сверлильные станки

Сверление – операция обработки материала резанием для получения глухих и сквозных цилиндрических отверстий в сплошном материале заготовки. В качестве инструмента при сверлении используется *сверло*, имеющее две главные режущие кромки. Для сверления используются сверлильные и токарные станки. На сверлильных станках сверло совершает вращательное (главное) движение и продольное (движение подачи) вдоль оси отверстия, заготовка неподвижна (рис. 38,*а*). При работе на токарных станках вращательное (главное движение) совершает обрабатываемая деталь, а поступательное движение вдоль оси отверстия (движение подачи) совершает сверло (рис. 38,*б*).

Сверление отверстий диаметром до 80 мм в сплошном металле осуществляется с помощью спиральных сверл. Для сверления отверстий диаметром свыше 80 мм применяют сверла специальных конструкций. Многие сверла, как и резцы, оснащаются пластинками из твердых сплавов (особенно ВК6 и ВК8) или выполняются в виде монолитного твердосплавно-

го инструмента. Эти сверла применяют для сверления чугуна, пластмасс, стекла и др. При сверлении закаленных сталей рекомендуется применять твердые сплавы марки Т15К6.

Диаметр просверленного отверстия можно увеличить сверлом большего диаметра. Такие операции называются *рассверливанием* (рис. 38,*в*). При сверлении обеспечиваются сравнительно невысокая точность и качество поверхности. Для получения отверстий более высокой точности и чистоты поверхности после сверления на том же станке выполняются зенкерование и развертывание.

Зенкерованием называют обработку (расширение) предварительно просверленных, штампованных или литых отверстий с целью придания им строго цилиндрической формы, достижения большей точности и более высокого параметра нормирования шероховатости поверхности.

Осуществляется зенкерование посредством инструмента, называемого *зенкером* и отличающегося от сверл устройством режущей части и большим числом режущих кромок (не менее трех). Зенкерование используется преимущественно как промежуточная операция между сверлением и развертыванием (рис. 38,*г*).

Развертывание – операция чистовой обработки отверстий, обеспечивающая высокую точность размеров и необходимую шероховатость поверхности (рис. 38, *д*). Она выполняется с помощью инструмента, называемого *разверткой*. Развертки – многолезвийный инструмент, срезающий очень тонкие слои с обрабатываемой поверхности и изготавливаемый из инструментальных сталей или оснащенный пластинками из твердых сплавов.

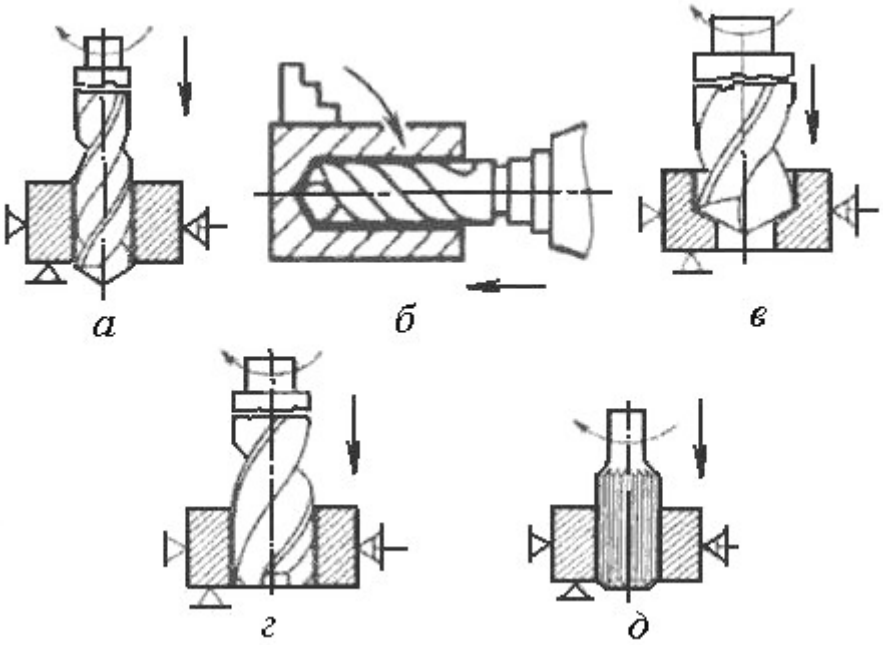


Рис. 38. Схемы сверления, зенкерования и развертывания

Зенкование – обработка входной или выходной части отверстия с целью снятия фасок, заусенцев, а также образования углублений под головки болтов, винтов и заклепок. Инструменты, применяемые для этой цели, называют *зенковками*. По форме режущей части они подразделяются на конические и цилиндрические. Цилиндрические зенковки с торцовыми зубьями применяют для обработки углублений под головки болтов, заклепок, шурупов, под

плоские шайбы, а также для подрезания торцов, плоскостей бобышек, для выборки уступов и углов.

5.2.3 Фрезерные станки

Фрезерование – высокопроизводительный и распространенный метод обработки поверхностей заготовок многолезвийным режущим инструментом – *фрезой*.

Фреза представляет собой режущий инструмент, снабженный несколькими зубьями. Каждый из зубьев представляет собой резец, снимающий стружку. Процесс резания при фрезеровании отличается от непрерывного резания при точении и сверлении тем, что зубья фрезы работают не все сразу, а попеременно. Этим обеспечивается стойкость инструмента, а наличие у фрезы большого количества зубьев повышает производительность обработки.

По исполнению фрезы делятся на *цилиндрические*, когда зубья располагаются только на цилиндрической поверхности фрезы, и *торцевые*, у которых режущие зубья располагаются на торцевой и цилиндрической поверхностях фрезы. Цилиндрические и торцовые фрезы применяют для обработки плоскостей; *дисковые*, *концевые*, *пазовые* и *угловые* – для получения канавок и пазов; *фасонные* – для обработки фасонных поверхностей; *модульные дисковые* и *пальцевые* – для нарезания зубьев зубчатых колес.

Фрезы изготовляют из легированных сталей марок 9ХС и ХВГ, быстрорежущей стали Р18, с пластинками твердого сплава Т15К6, Т14К8, ВК4 и др.

На фрезерных станках можно обрабатывать плоскости, фасонные поверхности, прорезать пазы, нарезать зубья зубчатых колес, резьбу, разрезать металл. При фрезеровании шпиндель фрезерного станка вместе с фрезой совершает вращательное (главное) движение, а заготовка, закрепленная на столе станка, получает прямолинейное перемещение – движение подачи, перпендикулярное к оси фрезы.

Существуют различные типы фрезерных станков: вертикально-фрезерные, горизонтально-фрезерные, консольно-фрезерные, продольно-фрезерные, копировально-фрезерные и др.

Шпиндель вертикально-фрезерных станков, несущий фрезу, вертикален, но его во многих случаях можно устанавливать под углом к заготовке. Движение стола, осуществляемое вручную или с помощью механического привода, точно контролируется по градуированным лимбам на ходовых винтах и по прецизионным шкалам с оптическим увеличением.

Фрезерная оправка (вал, несущий фрезу) горизонтально-фрезерного станка (рис. 39) горизонтальна. Стол, на котором закрепляется обрабатываемая деталь с необходимой оснасткой, может быть либо «простым», т.е. с перемещением по трем осям, либо универсальным, т.е. допускающим и угловые повороты.

На станках с числовым программным управлением предусматривается автоматическое управление перемещением стола и скоростью шпинделя. В некоторых случаях сам шпиндель устанавливается на салазках, допускающих его независимое перемещение в осевом или вертикальном направлениях. Станок такого типа позволяет серийно и с высокой точностью обрабатывать трехмерные поверхности, например, лопастей воздушных винтов и лопаток турбин.

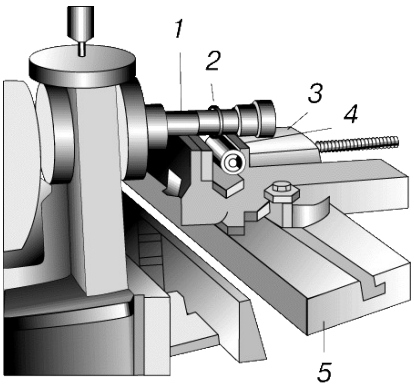


Рис. 39. Схема горизонтально-фрезерного станка: 1 – оправка; 2 – фреза; 3 – тиски; 4 – деталь; 5 – стол

Копировально-фрезерные станки обрабатывают сложные криволинейные поверхности, например, пуансонов и матриц для штампования листового металла, форм для литья под давлением и экструдирования. Индикаторный щуп проходит по фигурному профилю копира, а рабочая фреза передает этот профиль обрабатываемой детали.

Для консольно-фрезерного станка характерно перемещение стола с обрабатываемой деталью в любом из трех взаимно перпендикулярных направлений.

5.2.4 Шлифовальные станки

Шлифование – это процесс резания материалов с помощью абразивного материала (шлифовального инструмента), режущими элементами которого являются абразивные зерна. Чаще всего в качестве шлифовального инструмента пользуются шлифовальные круги.

При шлифовании главное движение вращательное, которое осуществляется шлифовальным кругом. При круглом шлифовании вращается одновременно и заготовка. При плоском шлифовании продольная подача осуществляется обычно заготовкой, а поперечная подача – шлифовальным кругом или заготовкой.

Процесс резания при шлифовании имеет значительное отличие по сравнению с работой лезвийного инструмента. При вращательном движении круга в зоне его контакта с заготовкой часть зерен срезает материал в виде очень большого числа тонких стружек. Шлифовальные круги срезают стружки на очень больших скоростях – от 30 м/с и выше (до 125 м/с). Процесс резания каждым зерном осуществляется почти мгновенно. Обработанная поверхность представляет собой совокупность микроследов абразивных зерен и имеет малую шероховатость.

В промышленности находят применение как естественные, так и искусственные абразивные материалы. К *естественным абразивным материалам* относятся алмаз, корунд, наждак и некоторые другие. Однако ввиду того, что свойства этих материалов нестабильны, а запасы их ограничены, основное применение в промышленности получили искусственные материалы. К *искусственным абразивным материалам* относятся электрокорунд, карборунд, карбид бора, синтетические алмазы и сверхтвердые материалы, полученные на основе кубического нитрида бора.

Электрокорунд применяется для шлифования сталей, чугунов и цветных металлов. Абразивные материалы из монокорунда предназначены для получистового и чистового шли-

фования деталей из цементированных, закаленных и высоколегированных сталей. Карбид кремния, содержащий не менее 97 % SiC, имеет зеленый цвет и обладает более высокими свойствами. Он преимущественно используется для заточки твердосплавного режущего инструмента. Карбид бора используется в основном в виде несвязанных абразивных зерен для доводки твердосплавного режущего инструмента, притирки, резки драгоценных камней и т.д. Для обработки закаленной стали применяется карбид бора, для шлифования стекла и керамики – природный или синтетический алмаз.

Свойства абразивных инструментов и их работоспособность определяются маркой абразивного материала, а также характеристиками инструмента: зернистостью абразива, видом связки, твердостью и структурой. Выбор зернистости абразивного инструмента зависит от величины припуска на обработку, чистоты обработанной поверхности и точности обработки. Для грубой предварительной обработки и обработки вязких материалов рекомендуются крупнозернистые инструменты, обеспечивающие высокую производительность, но низкое качество. Отделочные работы производятся мелкозернистыми кругами.

Шлифовальные станки, главным движением которых является вращение шпинделя шлифовального круга, позволяют обрабатывать детали с высокой степенью точности и чистоты. Обрабатываемая деталь закрепляется на станочном столе, который можно перемещать в разных направлениях при помощи микрометрических винтов. Главным движением при шлифовании является вращение шлифовального круга, а перемещение круга относительно детали является движением подачи.

Для выполнения процесса шлифования наружных поверхностей деталей используются кругло-шлифовальные, плоско-шлифовальные и бесцентрово-шлифовальные станки. При круглом шлифовании движение продольной подачи осуществляется возвратно-поступательным перемещением заготовки. Плоское шлифование может осуществляться периферией или торцом шлифовального круга. Для обработки сложных фасонных поверхностей используются специальные ленто-шлифовальные станки. В ленто-шлифовальных станках применяется инструмент в виде бесконечной абразивной ленты. Лента в процессе шлифования поверхности сложной формы (например, лопатки турбин) огибает сложную поверхность и перемещается в осевом и продольном направлениях. Абразивный слой наносят на бумажную или тканевую основу ленты.

Шлифованием обрабатываются только жесткие детали, не формирующиеся в процессе обработки. Данный способ не допускает обработки малых отверстий.

5.3 Электрофизические и электрохимические методы обработки

Электрофизические и электрохимические методы обработки предназначены в основном для обработки заготовок из очень прочных, весьма вязких, хрупких и неметаллических материалов.

Эти методы имеют следующие преимущества:

– отсутствует силовое воздействие инструмента на заготовку (или очень мало и не влияет на суммарную погрешность обработки);

– позволяют менять форму поверхности заготовки и влияют на состояние поверхностного слоя: наклеп обработанной поверхности не образуется, дефектный слой незначителен; повышаются коррозионные, прочностные и другие эксплуатационные характеристики поверхности;

– можно обрабатывать очень сложные наружные и внутренние поверхности заготовок.

Электрофизические и электрохимические методы обработки являются универсальными и обеспечивают непрерывность процессов при одновременном формообразовании всей обрабатываемой поверхности.

Электроэрозионные методы обработки основаны на явлении эрозии электродов из токопроводящих материалов при пропускании между ними импульсного электрического тока.

Разряд между электродами происходит в газовой среде или при заполнении межэлектродного пространства диэлектрической жидкостью (керосин, минеральное масло). При наличии разности потенциалов на электродах происходит ионизация межэлектродного пространства. При определенном значении разности потенциалов – образуется канал проводимости, по которому устремляется электроэнергия в виде импульсного искрового или дугового разряда. На поверхности заготовки температура возрастает до 10000-12000°С. Происходит мгновенное оплавление и испарение элементарного объема металла и на обрабатываемой поверхности образуется лунка. Удаленный металл застывает в диэлектрической жидкости в виде гранул диаметром 0,01-0,005 мм.

При непрерывном подведении к электродам импульсного тока процесс эрозии продолжается до тех пор, пока не будет удален весь металл, находящийся между электродами на расстоянии, при котором возможен электрический пробой (0,01-0,05 мм) при заданном напряжении. Для продолжения процесса необходимо сблизить электроды до указанного расстояния. Электроды сближаются автоматически с помощью следящих систем.

Электроискровую обработку применяют для упрочнения поверхностного слоя металла (рис. 40). На поверхность изделия наносят тонкий слой металла или композиционного материала. Подобные покрытия повышают твердость, износостойкость, жаростойкость и эрозионную стойкость.

При электроискровой обработке – используют импульсные искровые разряды между электродами: обрабатываемая заготовка (анод) – инструмент (катод). Конденсатор заряжается через резистор от источника постоянного тока напряжением 100-200 В. Когда напряжение на электродах и достигает пробойного образуется канал, через который осуществляется искровой разряд энергии, накопленной конденсатором. Продолжительность импульса 20-200 мкс. Точность обработки до 0,002 мм.

Получают сквозные отверстия любой формы поперечного сечения, глухие отверстия и полости, отверстия с криволинейными осями, вырезают заготовки из листа, выполняют плоское, круглое и внутреннее шлифование. Изготовляют штампы и пресс-формы, фильеры, режущий инструмент.

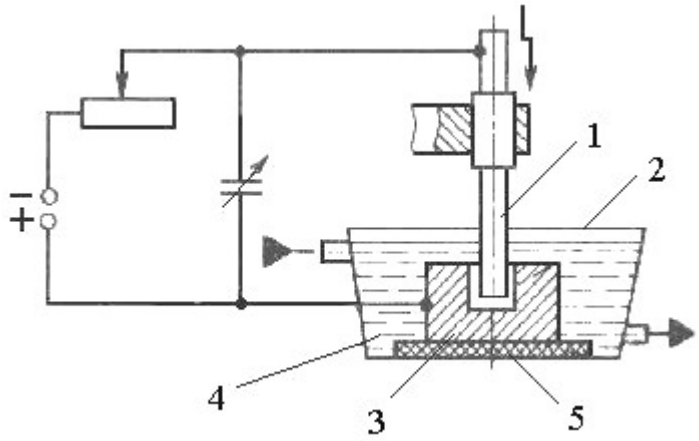


Рис. 40. Схема электроискрового станка: 1 – электрод-инструмент; 2 – ванна; 3 – заготовка-электрод; 4 – диэлектрическая жидкость; 5 – изолятор

Для обеспечения непрерывности процесса станки снабжаются следящей системой и системой автоматической подачи инструмента.

Электроимпульсная обработка. При электроимпульсной обработке используют электрические импульсы большой длительности (5-10 мс), в результате чего происходит дуговой разряд.

Большие мощности импульсов от электронных генераторов обеспечивают высокую производительность обработки.

Электроимпульсную обработку целесообразно применять при предварительной обработке штампов, турбинных лопаток, фасонных отверстий в детали из коррозионно-стойких и жаропрочных сплавов (рис. 41).

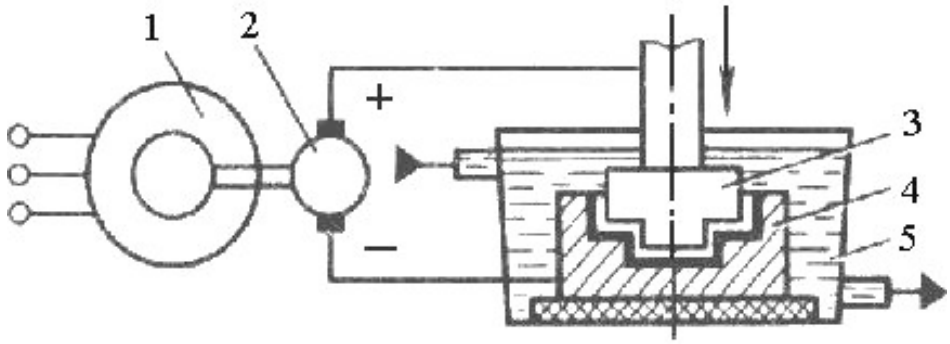


Рис. 41. Схема электроимпульсной обработки: 1 – электродвигатель; 2 – импульсный генератор постоянного тока; 3 – инструмент-электрод; 4 – заготовка-электрод; 5 – ванна

Электроконтактная обработка основана на локальном нагреве заготовки в месте контакта с электродом-инструментом и удалении размягченного или расплавленного металла из зоны обработки механическим способом: относительным движением заготовки или инструмента. Источником теплоты служат импульсные дуговые разряды. Этот вид обработки рекомендуется для крупных деталей из углеродистых и легированных сталей, чугуна, цветных сплавов, тугоплавких и специальных сплавов.

Электрохимическая обработка основана на законах анодного растворения металлов при электролизе.

При прохождении электрического тока через электролит на поверхности заготовки происходят химические реакции, и поверхностный слой металла превращается в химическое соединение. Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются механическим способом.

Производительность этого способа зависит от электрохимических свойств электролита, обрабатываемого материала и плотности тока.

Электрохимическое полирование осуществляется в ванне, заполненной электролитом (растворы кислот и щелочей), иногда подогреваемым. Обрабатываемую заготовку подключают к катоду (рис. 42), которым служит металлическая пластинка из свинца, меди или стали.

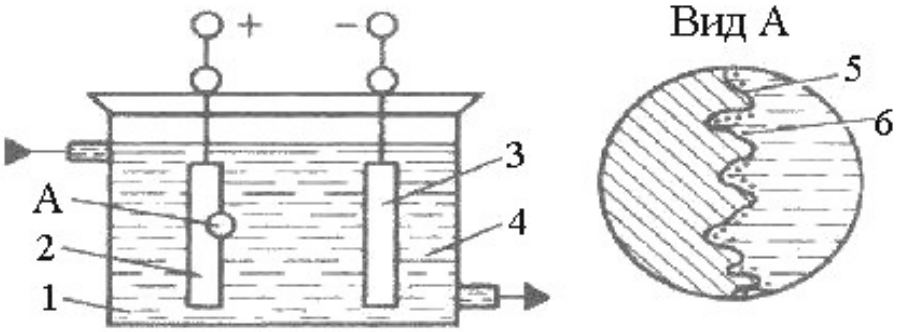


Рис. 42. Схема электрохимического полирования: 1 – ванна; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – пластина-электрод; 4 – электролит; 5 – микровыступ; 6 – продукты анодного растворения

При подаче напряжения начинается процесс растворения металла заготовки (в основном на выступах микронеровностей). В результате избирательного растворения микронеровности сглаживаются и обрабатываемая поверхность приобретает металлический блеск. При этом улучшаются электрофизические характеристики деталей: уменьшается глубина микротрещин, поверхностный слой не деформируется, исключаются упрочнения и термические изменения структуры, повышается коррозионная стойкость.

Этим методом получают поверхности под гальванические покрытия, доводят рабочие поверхности режущего инструмента, изготовляют тонкие ленты и фольгу, очищают и декоративно отделывают детали.

Электрохимическая размерная обработка выполняется в струе электролита, прокачиваемого под давлением через межэлектродный промежуток. Электролит растворяет образующиеся на поверхности заготовки – анода соли и удаляет их из зоны обработки. Высокая производительность процесса заключается в том, что одновременно обрабатывается вся поверхность заготовки.

Участки, не требующие обработки, изолируют. Инструменту придают форму, обратную форме обрабатываемой поверхности. Формообразование происходит по методу копирования (рис. 43). Точность обработки повышается при уменьшении рабочего зазора. Для его контроля используют высокочувствительные элементы, которые встраивают в следящую систему.

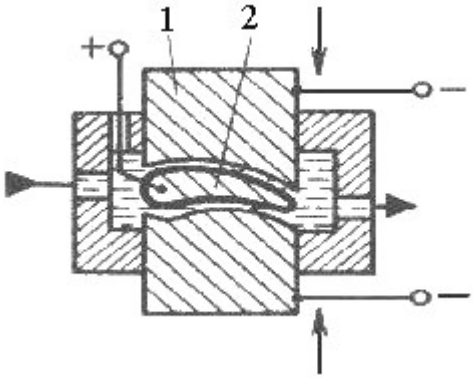


Рис. 43. Схема электрохимической размерной обработки:
1 – инструмент-катод; 2 – заготовка-анод

Этот способ рекомендуют для обработки заготовок из высокопрочных сталей, карбидных и труднообрабатываемых материалов. Также можно обрабатывать тонкостенные детали с высокой точностью и качеством обработанной поверхности (отсутствует давление инструмента на заготовку).

Комбинированные методы обработки

Анодно-механическая обработка основана на сочетании электротермических и электромеханических процессов и занимает промежуточное место между электроэрозионным и электрохимическим методами.

Заготовку подключают к аноду, а инструмент – к катоду (рис. 44). В качестве инструмента используют металлические диски, цилиндры, ленты, проволоку. Обработку ведут в среде электролита (водный раствор жидкого натриевого стекла). Рабочие движения, как при механической обработке резанием. Электролит в зону обработки подают через сопло.

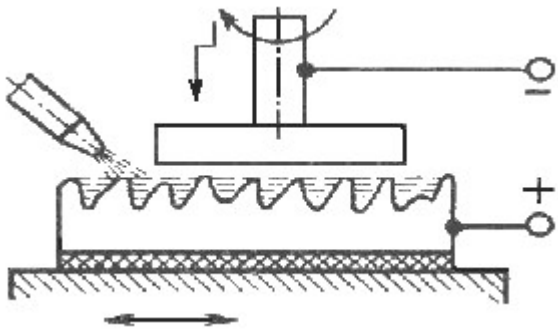


Рис. 44. Схема анодно-механической обработки плоской поверхности

При пропускании через раствор электролита постоянного электрического тока происходит процесс анодного растворения, как при электрохимической обработке. При соприкосновении инструмента с микронеровностями заготовки происходит электроэрозия, присущая электроискровой обработке. Металл заготовки в месте контакта с инструментом разогревается и разжижается. Продукты электроэрозии и анодного растворения удаляются при относительных движениях инструмента и заготовки.

Этим способом обрабатывают заготовки из высокопрочных и труднообрабатываемых сплавов, вязких материалов. Разрезают заготовки на части, прорезают пазы и щели, обрабаты-

вают поверхности тел вращения, шлифуют плоские поверхности и поверхности, имеющие форму тел вращения, полируют поверхности, затачивают режущий инструмент.

5.4 Дефекты, возникающие при обработке деталей резанием

В деталях в результате холодной деформации металла, например при сверлении или разверстке отверстий тупым сверлом или разверткой, могут возникнуть неглубокие трещины, называемые *надрывами*. Вероятность образования надрывов особенно велика в случае недостаточной пластичности металлов и сплавов. Кроме того, надрывы могут образоваться при холодной штамповке и горячей деформации (ковке, штамповке, протяжке с большой степенью деформации).

В процессе шлифования закаленных высокоуглеродистых и легированных возникают *шлифовочные трещины*, представляющие собой группу мелких и тонких разрывов, как правило, в виде сетки на шлифованной поверхности металла.

При шлифовании трещины возникают по двум причинам;

из-за неправильного режима термообработки деталей, например очень резкого охлаждения, приводящего к значительным внутренним напряжениям. В этом случае достаточно даже небольших дополнительных напряжений термического и механического происхождения, получающихся в поверхностном слое при шлифовании абразивными кругами, чтобы появились поверхностные шлифовочные трещины;

вследствие местного перегрева металла при нарушении режимов шлифования – применении неподходящего для данного материала или «засаленного» круга, чрезмерном повышении подачи (давления), скорости шлифования (продолжительной задержке камня на одном месте) или недостаточном охлаждении. Чрезмерные местные перегревы поверхностного слоя закаленных сталей, обладающих пониженным коэффициентом теплопроводности, вызывают в нем высокие внутренние напряжения вследствие неравномерных объемных изменений при чередующемся нагреве и охлаждении. Эти напряжения приводят к образованию сетки шлифовочных трещин.

У малоуглеродистых сталей, обладающих более высоким коэффициентом теплопроводности и повышенными пластическими свойствами, образование трещин при шлифовке маловероятно.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается сущность процесса резания металлов?
2. Какие требования предъявляют к инструментальным материалам?
3. Дайте характеристику различным группам инструментальных материалов и укажите области их применения
4. С какой целью легируют инструментальные стали?
5. В чем особенности получения твердых сплавов?
6. На какие группы делятся применяемые в настоящее время твердые сплавы?
7. Сравните инструментальные материалы по теплостойкости и скорости резания.
8. Что положено в основу классификации металлорежущих станков? Приведите при-

меры классификации металлорежущих станков.

9. Что обозначают цифры и буквы в маркировке станков?
10. Какие основные операции выполняют на токарных станках?
11. Дайте характеристику сверлильным станкам.
12. В чем различие между сверлом, зенкером и разверткой?
13. Какие основные операции выполняют на фрезерных станках?
14. Что представляют собой операции шлифования?
15. В чем сущность электрофизических и электрохимических методов обработки? Приведите примеры.
16. Какие дефекты возникают при обработке деталей резанием?

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК

Агломерация (agglomeration) – термический способ окускования мелких материалов, чаще всего рудной шихты (рудной мелочи и концентратов, пылевидных руд, колошниковой пыли), для улучшения их металлургических свойств, осуществляемый обычно путем сжигания мелкого топлива в самом материале за счет непрерывного прососа воздуха; часто в агломерационную шихту вводят флюсы (известняк).

Волочение (drawing) – процесс пластической деформации металла, заключающийся в протягивании заготовки через отверстие волоки, размеры которого меньше размеров поперечного сечения заготовки.

Выход годного (yield) – отношение массы готовых изделий к массе заготовок (исходных материалов), использованных для получения этих изделий.

Гибка (bending) – формоизменяющая операция обработки металлов давлением, предназначенная для образования или изменения углов между частями заготовки, а также для придания заготовке криволинейной формы.

Губчатое железо (sponge iron) – пористый кусковой или пылевидный продукт, получаемый в твердом виде непосредственно из железорудных материалов восстановлением содержащихся в них оксидов железа оксидом углерода, водородом или углеродом.

Дрессировка (temper) – холодная прокатка с малыми обжатиями, обеспечивающая упрочнение поверхностного слоя металла без деформации внутренних слоев.

Засыпной аппарат – устройство, предназначенное для загрузки сыпучих материалов в шахтные печи (доменные, обжиговые и др.). Шихта в засыпной аппарат подается скипами или транспортерами.

Зональная ликвация (zonal liquation) – ликвация в отдельных частях слитка или изделия.

Катанка (rod) – круглый горячекатаный мелкосортный прокат диаметром 5-10 мм, преимущественно применяемый в качестве заготовки для холодного волочения.

Коробление (warp) – искажение формы изделия вследствие действия внутренних напряжений, образующийся из-за неравномерной деформации по длине и ширине заготовки.

Крица (bloomery iron, ball iron) – твердая губчатая масса железа (с низким содержанием углерода, серы, фосфора и кремния) со шлаковыми включениями, заполняющими поры и полости.

Ликвация (liquation) – неоднородность сплава по химическому составу, структуре и неметаллическим включениям, образующаяся при кристаллизации слитка.

Литье (casting) – получение изделий путем заливки расплавленных материалов в литейную форму.

Метизы (сокр. от металлические изделия) – стандартизованные металлические изделия разнообразной номенклатуры. К метизам промышленного назначения относят стальную холоднокатаную ленту, стальную проволоку и изделия из нее, крепежные детали и т.д.

Наклеп (riveting) – изменение структуры и свойств металлов и сплавов в результате пластической деформации при частичном или полном подавлении рекристаллизации; сопровождается повышением твердости и прочности понижением пластичности и ударной вязкости. Упрочнение металлов и сплавов пластическим деформированием.

Отливка (casting) – заготовка или деталь, получаемая в литейной форме из жидкого металла, сплава, шлака и т.д.

Плакирование (plating) – нанесение на поверхность металлических изделий тонкого слоя другого металла или сплава с помощью горячей прокатки, горячего прессования или взрывом.

Под (floor) – элемент конструкции печи, на котором располагаются материалы и изделия, подвергаемые тепловой обработке.

Порошковая металлургия (powder metallurgy) – производство металлических порошков и спеченных изделий из них, а также из композиций металлов с неметаллами. Методы порошковой металлургии позволяют получать такие материалы и изделия, которые невозможно получить путем плавки, либо материалы и изделия с обычными свойствами, но экономически более выгодным путем.

Правка (correction) – формообразующая операция обработки металлов давлением, выполняемая с целью устранения или уменьшения дефектов формы металлических изделий или полуфабрикатов.

Прокат (rolled products) – продукция прокатного производства в виде изделий из черных и цветных металлов и сплавов, полученных методом горячей, теплой или холодной прокатки.

Прокатка (rolling) – процесс обработки металлов давлением путем обжатия между двумя или более прокатными валками с целью уменьшения поперечного сечения прокатываемой заготовки (слитка), увеличения ее длины и придания требуемой формы.

Пустая порода – это такие минералы, которые не вносят серьезных технологических осложнений в металлургическую переработку и легко отделяются от рудных минералов в процессе обогащения или переходят в шлаки при плавке.

Режим (regime) – совокупность параметров реализации технологического процесса (длительность, температура, давление и пр.)

Руды – горные породы, которые технически возможно и экономически целесообразно перерабатывать для извлечения содержащихся в них металлов.

Серебрянка (silver brittleness) – круглая сталь диаметром 0,2-30 мм со специальной обработкой поверхности (шлифование, полирование) и повышенной точностью размеров.

Синеломкость (blue brittleness) – снижение пластичности стали при одновременном повышении прочности, характерное для деформации при температурах возникновения синего цвета побежалости (200-300°С).

Скип (skip) – автоматически разгружающийся сосуд (короб) для подъема сыпучих материалов.

Угар (waste) – потери металла в результате окисления при плавке или при нагреве.

Упрочнение (hardening) – повышение прочности материала или изделия в результате технологического процесса или при эксплуатации.

Упрочнение объемное (volumetric hardening) – упрочнение, достигаемое по всему сечению заготовки или изделия.

Упрочнение поверхностное (surface hardening) – упрочнение поверхностного слоя за счет изменения его состава или структуры.

Фурма (от немецкого Form, буквально – форма) – устройство для подачи воздушного дутья в металлургические печи или для продувки металлической ванны кислородом при выплавке стали или цветных металлов.

Штамповка (forging) – способ обработки металлов давлением, при котором формообразование металла осуществляется в результате пластического нормирования в полостях штампа при взаимодействии его частей под действием внешних сил. Изделие, изготовленное штамповкой.

Штамповка горячая (hot forging) – штамповка с предварительным нагревом заготовки до температуры выше температуры рекристаллизации.

Штамповка закрытая (closed die forging) – штамповка в закрытых штампах без образования облоя по периметру поковки.

Штамповка листовая (sheet forming) – штамповка с использованием в качестве заготовки листового проката.

Штамповка объемная (die forging) – штамповка с использованием в качестве заготовки мерной части сортового проката круглого, квадратного или прямоугольного профиля.

Штамповка открытая (open die forging) – штамповка в открытых штампах с образованием заусенцев по периметру поковки.

Штамповка холодная (cold forging) – штамповка без предварительного нагрева заготовки, осуществляемая при температуре ниже температуры рекристаллизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Андреев В.В.* Основы технологии судостроения / В.В. Андреев. – Л.: Судостроение, 1984.
2. *В.Т. Жадан* и др. Материаловедение и технология металлов / В.Т. Жадан, П.И. Полухин, А.Ф. Нестеров и др. – М.: Металлургия, 1994.
3. *Васильев В.И.* и др. Технология судостроительных материалов / В.И. Васильев, А.Д. Гармашев, А.Д. Озерский. – Л.: Судостроение, 1990.
4. *Дальский А.М.* и др. Технология конструкционных материалов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин, А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002.
5. *Кечин В.А.* и др. Проектирование и производство литых заготовок / В.А. Кечин, Г.Ф.Селихов, А.Н. Афонин. – Владимир: ВлГУ, 2002.
6. *Колесов С.Н.* и др. Материаловедение и технология металлов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – М.: Высш. шк., 2004.
7. *Максимец Н.А.* и др. Технология сварки легированных сталей / Н.А. Максимец, Е.Н. Негода. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2002.
8. Металловедение и технология металлов / Под ред. Ю.П. Солнцева. – М.: Металлургия, 1988.
9. Политехнический словарь / Гл. ред. А.Ю. Ишлинский. – М.: Сов. энциклопедия, 1989.
10. Регистр России. Правила классификации и постройки морских судов. Л.: Транспорт, 2000.
11. Справочник судоремонтника-корпусника / Под ред. А.Д. Юнитера. – М.: Транспорт, 1991.
12. Справочник судосборщика/ В.А. Галкин. – Л.: Судостроение, 1987.
13. *Таранцева К.Р.* и др. Технология конструкционных материалов / К.Р. Таранцева, В.Б. Моисеев, А.Г. Схиртладзе, В.А. Скрябин. – М.: Машиностроение, 2001.
14. Технология конструкционных материалов / Под ред. М.А. Шатерина. – СПб.: Политехника, 2005.
15. *Трухов А.П.* Литейные сплавы и плавка / А.П. Трухов, А.И. Маляров. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.
16. *Фетисов Г.П.* и др. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; Под ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высш. шк., 2006.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

ГЛАВА 1 МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО 4
1.1 Доменное производство 6
1.2 Сталеплавильное производство 13
1.3 Цветная металлургия 32

ГЛАВА 2 ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО 39
2.1 Литейные свойства сплавов 39
2.2 Литейные сплавы 43
2.3 Классификация литых заготовок 64
2.4 Технологичность литых деталей 66
2.5 Способы получения отливок 67
2.5.1 Литье в песчано-глинистые формы 68
2.5.2 Специальные методы литья 75
2.6 Дефекты отливок и способы их устранения 87

ГЛАВА 3 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ 89
3.1 Влияние обработки давлением на структуру и свойства металлов и сплавов 91
3.2 Классификация процессов обработки металлов давлением 93
3.2.1 Прокатное производство 94
3.2.2 Ковка 100
3.2.3 Штамповка 107
3.2.4 Прессование 113
3.2.5 Волочение 115
3.3 Дефекты деформированного металла 117

ГЛАВА 4 ОСНОВЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА 121
4.1 Классификация способов сварки и сварных соединений 122
4.2 Особенности структуры и свойств сварных соединений 124
4.3 Сварка плавлением 125
4.4 Сварка давлением 130
4.5 Пайка 133
4.6 Материалы для сварки различных сплавов 135
4.7 Дефекты сварных соединений 135

ГЛАВА 5 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ 138
5.1 Инструментальные материалы 138

5.1.1 Требования к инструментальным материалам 138
5.1.2 Виды инструментальных материалов и области их применения 139
5.2 Металлорежущие станки 146
5.2.1 Токарные станки 149
5.2.2 Сверлильные станки 150
5.2.3 Фрезерные станки 152
5.2.4 Шлифовальные станки 153
5.3 Электрофизические и электрохимические методы обработки 155
5.4. Дефекты, возникающие при обработке деталей резанием 159

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК 161

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 164

Учебное издание

Ирина Николаевна Мутылина

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Редактор В.В. Сизова

Техн. редактор Н.М. Белохонова

Компьютерная верстка автора

Подписано в печать 02.02.07. Формат 60x84/16.
Усл.печ.л. 9,77. Уч.-изд.л. 9,58.
Тираж 100 экз. Заказ 029.

Издательство ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10
Типография издательства ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская,10