МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

В.Р. Каргин, Р. Заббаров, М.В. Хардин

ВВЕДЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИЮ
Часть 1

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

САМАРА
Издательство СГАУ
2010

УДК СГАУ: 669.1.(075)
ББК 34.3
К 218

Рецензенты: проф. В. А. М и х е е в, проф. В. А. К о с т ы ш е в

Каргин В.Р.
К 218 **Введение в металлургию**. **Ч. 1**: учеб. пособие / *В. Р. Каргин, Р. Заббаров М.В. Хардин*. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. – 44 с.

ISBN 978-5-7883-0803-6

Рассматриваются в популярной форме история и состояние металлургии металлов и сплавов, а также процессов обработки металлов давлением: ковки, волочения, прокатки, прессования, штамповки. Описана роль инженера в современном производстве.

Пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплину «Введение в металлургию» по направлению подготовки 150400 «Металлургия» и специальности 150106 «Обработка металлов давлением», а также для профессиональной ориентации молодежи.

УДК СГАУ: 669.1.(075)
ББК 34.3

ISBN 978-5-7883-0803-6

© Самарский государственный аэрокосмический университет, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗ ИСТОРИИ МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛОБРАБОТКИ……..…..4
МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ ……..……...15
МЕТАЛЛУРГИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ…….23
СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ……..35
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ……43

1. ИЗ ИСТОРИИ МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛОБРАБОТКИ

Первый металл, с которым человек познакомился примерно за 8000 лет до н. э. и начал обрабатывать давлением, это золото. Далее идут медь, самородное серебро, метеоритное железо. Век металлов наступил, когда человек освоил процессы выплавки металлов из руды, литья и ковки. Железо впервые было обнаружено (земное происхождение) около 3000 лет до н. э. на Ближнем Востоке и стало активно вытеснять медь и бронзу.

Первый способ получения железа – сыродутный. В яму загружали железную руду вместе с древесным углем, плотно ее закрывали, поджигали и раздували мехами. Под воздействием газа CO происходило прямое восстановление железа из руды. Получали крицу.

Сыродутный процесс был широко распространен до 18 века. В Европе он сохранился до 1850 года, а в Северной Америке – до 1890 г. В настоящее время сыродутные горны можно встретить в Центральной Африке.

Кожух сыродутного горна изготавливался из глины вперемежку с деревянными жердями. В рабочее пространство горна загружали слоями уголь и измельченную руду. Через отверстия поступала воздушная тяга. Крица – это продукт, состоящий из сваренных между собой частиц восстановленного железа («криц»), находящихся в тестообразном шлаке. Крицу извлекали через пролом в стенке горна, и к делу приступал кузнец: проковывали крицу и «выдавливали» шлак. Затем крицу разделяли на части, проковывали и придавали нужную форму.

Со временем стенки сыродутного горна стали выкладывать из кирпича и применять принудительное воздушное дутье (мехи). Так, постепенно *сыродутный горн* преобразовался в *домницу* – прообраз современных *доменных печей*. В этом процессе роль восстановителя (древесного угля) росла. Получаемый железо-углеродистый сплав, насыщенный углеродом, снижал температуру плавления. Так, по ходу развития процесса, стали получать два продукта: *железо* (крица) и *чугун*. Чугун был побочным продуктом, свойства которого не были известны. Со временем были разработаны процессы «передела» чугуна в ковкое железо. Основная задача – «выжечь» углерод из чугуна. Этот процесс получил название «*кричный передел»,* или *«фришевание»* (от нем. frisch – свежий, чистый).

В 1784 году англичанин Генри Корт предложил способ *«пудлингования»* (от англ. puddle – месить, перемешивать). Это было начало металлургии стали. Процесс сводится к очистке чугуна от углерода в пламенной печи. Продукт процесса, железо, в горячем виде проковывали на «колбаски» (диаметром 7-10 см и длиной 50 см). Эти заготовки раскатывали на полосы, затем разделяли на куски длиной 50 см и еще раз прокатывали, накладывая по четыре полосы одна на другую. Получали *«сварочное железо».* Но сварочное железо имело существенный недостаток – неравномерность свойств по сечению. Англичанин Бенджамин Хатсмен (1704-1777 гг.) пришел к выводу, что состав можно выровнять путем переплава.

Основателем сталеплавильного производства следует считать англичанина Генри Бессемера (1813-1898 гг.). В 1855 г. он впервые предложил получать сталь из жидкого чугуна, продувая его воздухом.

Для переработки фосфористых чугунов англичанин Сидней Джилкрист Томас (1850-1885 гг.) предложил в 1877 г. продувать жидкий чугун воздухом в конвекторе с основной футеровкой.

Бессемеровский и томасовский процессы позволяли получать сталь из жидкого чугуна. Но эти процессы не предусматривали использование отходов металлообработки (скрап). Немецкие металлурги Вильгельм и Фридрих Сименсы предложили регенеративную печь. В 1864 г. французскому металлургу Пьеру Мартену (1824-1915 гг.) удалось впервые выплавить сталь из отходов в регенеративной печи Сименсов. Этот процесс получил названия: *«мартеновский»* во Франции и России, *«сименс-мартеновский»* в Германии и *«процесс на открытом поду»* в Англии и США.

Развитие обработки металлов давлением началось с ковки самородных металлов и, вероятно, раньше, чем человек научился выплавлять металлы.

Первые изделия из метеоритного железа получали ковкой. Греки приписывали изобретение ковки Гефесту – богу огня и покровителю кузнецов.

Следующим по времени освоения процессом обработки металлов давлением было волочение. В III-IV тысячелетии до н. э. в Вавилоне при изготовлении украшений из благородных металлов (золота и серебра) применяли волочение. Первые волоки были получены из камня. Протягивание проволоки производили вручную. В последующем основным волочильным инструментом была доска с просверленными в

ней отверстиями различного диаметра. Последовательно протаскивая заготовку через несколько отверстий с уменьшающимся диаметром, получали проволоку нужного размера.

На территории нашей Родины в XIII в. до н. э. были известны орудия и оружие из железа. Железо получали прямым восстановлением руд в сыродутных печах в форме губчатых криц, из которых ковали всевозможные изделия. Основное оборудование кузнеца Древней Руси составляли: кузнечный горн, меха, наковальня, а инструментом служили кувалды, зубила, клещи (рис.1).

Металлографическое и рентгенографическое изучение железных изделий археологических памятников показало, что в X-XIII в. н. э. техника обработки железа на Руси достигла большого совершенства. В то время широко применяли наряду со свободной ковкой кузнечную сварку, пайку медью, полировку, цементацию, термическую обработку (закалка, отпуск).

Рис. 1. Кузница Древней Руси

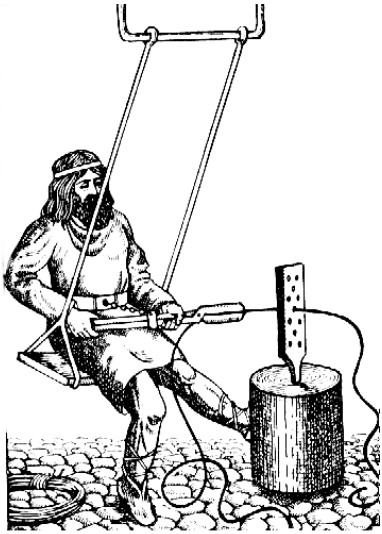

Рис. 2. Приспособление с качающимся сиденьем для волочения проволоки

Примерно до XV века основной продукцией ковки были косы, серпы, топоры, лемеха, предметы хозяйственного инвентаря, оружие, доспехи. Кузнечной сваркой получали многослойные мячи из полос железа и стали, наваривали стальные лезвия на железные топоры. Для изготовления кольчуг применяли волочение проволоки из мягкой стали. На одну кольчугу требовалось до 600 метров проволоки, из которой изготавливали примерно 20 тысяч колец. Каждое кольцо продевалось через соседнее и заваривалось с помощью кузнечной сварки. Значительное усовершенствование ручного волочения было достигнуто при изобретении волочильного производства с качающимся сиденьем (рис. 2).

Примерно до X века главными потребителями и изготовителями проволоки из меди, серебра, золота и их сплавов были мастера-ювелиры. Из проволоки делали золотошвейную пряжу и канитель – тонкие спирали, которые использовали для вышивания одежд. В XI-XIII веках волочение становится самостоятельной отраслью металлообработки. Создаются цеховые объединения волочильщиков проволоки. Их продукция предназначалась для изготовления иголок, булавок, гвоздей, щеток.

Высокий уровень техники обработки железа в Древней Руси и масштабы его производства позволили не только удовлетворить потребность страны, но и экспортировать железные изделия в западные страны.

К концу XVI века Новгород населяли около 5,5 тысяч людей разных профессий, 600 из них были связаны с обработкой металла: 112 кузнецов, 38 ножовщиков, 35 котельников, 21 гвоздочник, 18 оружейников, 17 замочников, 12 ведерников, по несколько человек лемешников, скобочников, игольников, булавочников и так далее. По всей Руси жили десятки тысяч мастеров по обработке металлов давлением.

Переход от сыродутного способа получения железа к доменному производству чугуна с последующим переделом его в железо в кричных горнах явился большим шагом вперед.

Создаются государственные металлургические заводы на Урале (1630 г.), начинается применение водяных двигателей для привода молотов и волочильных станов (1644 г.). Первый волочильный стан состоял из двух барабанов: рабочего и размоточного, между которыми размещалась волочильная доска. Рабочий барабан приводился в движение от энергии падающей воды.

Развитие металлургии в России особенно ускоряется при Петре I. На Урале строятся казенные и частные заводы для выплавки меди и чугуна. К тридцатым годам XVIII в. Россия не только догнала западные страны по выплавке чугуна, но и опередила их и заняла первое место в мире.

Возникновение следующего по времени процесса обработки металлов давлением – прокатки – связывают с именем гениального художника и инженера Леонардо да Винчи, опубликовавшего в 1495 г. первые печатные материалы по прокатке. Со свойственной ему проницательностью и гениальностью он предложил прокатку стальных полос переменной толщины. Его предложение по прокатке конических орудийных стволов было осуществлено лишь в середине 50-х годов XX века. Однако до конца XVIII в. прокатку применяли для отделки предварительно откованных железных полос. Для уменьшения толщины кованых полос применяли прокатные станы дуо с цилиндрическими валками, называвшиеся тогда «плющильными машинами» (рис. 3).

В конце XVIII века были сделаны крупные изобретения, способствовавшие значительному прогрессу в металлургии и, в частности, в обработке металлов давлением. Было изобретено пудлингование, по-

зволившее получать железо в больших количествах, лучшего качества и более дешевое. Изобретение паровых машин для привода (Ползунов в 1760 г. и Уатт в 1784 г.) позволило создать мощные воздуходувки, обеспечивающие получение чугуна на коксе взамен древесного угля. Паровые машины для привода прокатных станов позволили обрабатывать железо из пудлинговых криц, минуя ковку. Началом применения прокатки для обработки железа (рис. 4) считается 1784 г. (патент английского инженера Корта), хотя в 1782 г. на Черноэском заводе был установлен стан для прокатки кровельных листов с приводом от водяного колеса. В 1839 г. был создан паровой молот (английский инженер Нейсмит). Указанные усовершенствования привели к значительному росту выплавки чугуна в начале XIX в. в западных странах, особенно в Англии, и к сокращению импорта железа из России.

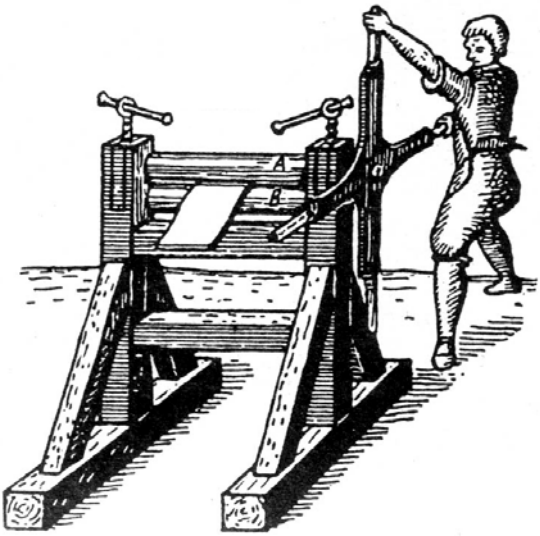

Рис. 3. Прокатный стан дуо с цилиндрическими валками

Рис. 4. Старинный сортопрокатный стан

Еще один способ обработки металлов давлением – прессование, как технологический способ стал возможен лишь в конце XVII в. Стимулом к воплощению идей, охватывающих процесс прессования, стала возрастающая в XVII-XVIII вв. потребность в трубах для подачи жидкостей (рис. 5). Местом первых разработок в этой области была Англия.

Первый гидропресс запатентован в 1795-1797 гг. английским инженером Джозефом Брама, современником и конкурентом Д. Уатта. Пресс напоминал ручной насос и позволял прессовать свинцовые трубы. В 1820 г. англичанин Томас Барр сконструировал вертикальный гидропресс для прессования свинцовых труб. Прообразом современных горизонтальных гидропрессов стал пресс конструкции Г. Дика, созданный в Германии в 1894-1895 гг. Его появлением положено начало промышленному применению прессования профилей и труб из ме-

ди, медных и алюминиевых сплавов. Этот процесс в известной области стал вытеснять прокатку, обработку металлов резанием и литье.

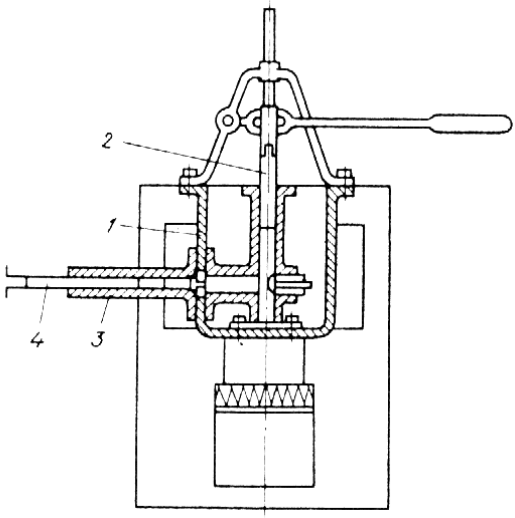

Рис. 5. Пресс для свинцовых труб:
1 – чугунный котел; 2 – ручной насос; 3 – труба; 4 – коническая игла

Развитие железнодорожного транспорта в XIX в. потребовало большого количества стали для изготовления паровозов, вагонов, мостов, рельсов. Изобретение бессемеровского и мартеновского способов производства стали обеспечило ее получение в большом количестве в виде крупных слитков. Для их обработки потребовались мощные прокатные станы, молоты и прессы. Применение электродвигателей в конце XIX в. стало шагом вперед в развитии металлургии и особенно в обработке металлов давлением.

Несмотря на отставание в XIX в. металлургии России, во многих случаях русская техника опережала западную. Так, на русских военных заводах в 1800 г. применяли горячую объемную штамповку, а на западе этот процесс не был известен. Качество оружия благодаря трудам Аносова и Обухова было выше западноевропейского.

Для военных флотов сооружались первые броненосцы. Для этого нужны большие броневые плиты. Изготовление таких плит ковкой было процессом крайне трудоемким и дорогостоящим. В 1859 г. русский

механик В.С. Пятов сконструировал первый в мире мощный прокатный стан для производства броневых листов. Этот стан стал предшественником современных обжимных станов – блюмингов и слябингов.

Начиная с середины XIX века, чрезвычайно широкое распространение получает штамповка (рис. 6).

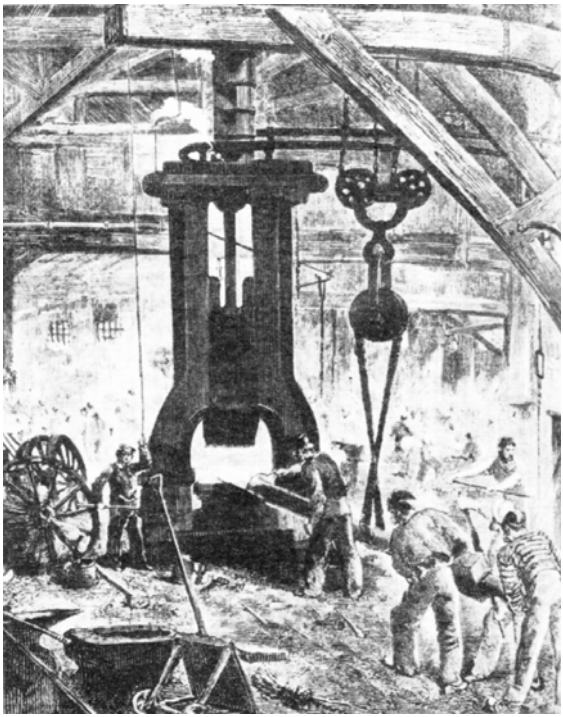

Рис. 6. В кузнечном цехе конца XIX века

В XX веке строительство тракторных, автомобильных, авиационных и других заводов сопровождалось созданием на них современных цехов горячей объемной и холодной листовой штамповки. Получили большое развитие и процессы волочения, прокатки и прессования.

Сегодня в металлургии существуют пять основных способов обработки металла давлением: ковка, штамповка, прокатка, волочение и прессование. Каждый из них имеет свою область применения. Обычно при получении какой-либо детали на разных стадиях используют не-

сколько видов обработки давлением. В результате все существующие способы дополняют друг друга, взаимно расширяют свои возможности.

Необычайно разнообразно оборудование для обработки металлов давлением: громадные обжимные прокатные станы и прессы, роботизированные ковочные комплексы, полностью автоматизированные штамповочные линии, деталепрокатные агрегаты, уникальные станы для получения тончайшей фольги и проволоки.

Россия сыграла выдающуюся роль в металлургии черных и цветных металлов, поэтому важно рассмотреть исторические даты развития металлургии нашей Родины.

1628 г. – начало разработок железных руд на Урале (Турьинский рудник).

1631 г. – построен первый на Урале железоделательный (бездоменный) завод.

1637 г. – на реке Тулица (Тула) построен первый в России металлургический завод с доменным и передельным цехами.

1813 г. – построен первый рельсопрокатный завод в Санкт-Петербурге.

1817-1847 гг. – деятельность великого русского металлурга П. П. Аносова на Златоустовском металлургическом заводе (открытие секрета булата).

1857 г. – впервые в России проведено бессемирование стали.

1868 г. – Д. К. Черновым открыты критические точки (точки Чернова). Заложены научные основы металлографии и термической обработки металлов.

1910 г. – пущена первая дуговая электропечь для выплавки сталей на Обуховском заводе (Санкт-Петербург).

1916 г. – начато строительство завода «Электросталь». Пуск первой электросталеплавильной печи на этом заводе состоялся в 1917 г.

1924 г. – опубликован труд проф. М. А. Павлова «Определение размеров доменных и мартеновских печей», сформулировавший научные основы для их расчетов и проектирования.

1931 г. – пущен крупный завод ферросплавов в г. Челябинске.

1932 г. – вошли в строй Магнитогорский и Кузнецкий комбинаты – крупнейшие в мире металлургические предприятия.

1933 г. – на Днепродзержинском и Макеевском металлургических заводах смонтированы и введены в эксплуатацию два первых советских блюминга, изготовленных Ижорским заводом.

1934 г. – пущен крупнейший в стране Первоуральский трубопрокатный завод.

1937 г. – вошла в строй первая в мире сверхмощная доменная печь объемом 1300 $м^3$ на заводе «Запорожсталь». На этом же заводе пущен первый в СССР крупный непрерывный тонколистовой стан.

1938 г. – начато проведение первых опытов по непрерывной разливке стали. Промышленные установки полунепрерывной и непрерывной разливки стали установлены на заводах «Красный Октябрь» – 1951 г., на Ново-Тульском – 1953 г. и «Красное Сормово» – 1954 г.

1940 г. – введено в эксплуатацию крупное предприятие – Ново-Тагильский металлургический завод, ныне Нижне-Тагильский металлургический комбинат.

1943 г. – введен в эксплуатацию металлургический завод в г. Челябинске.

1944 г. – введены в действие Челябинский трубопрокатный завод и первый на Урале бессемеровский цех на Чусовском металлургическом заводе.

1947 г. – на Ново-Тульском металлургическом заводе впервые применено в доменной печи дутье, обогащенное кислородом.

1955-1956 гг. – введен в эксплуатацию крупный Череповецкий металлургический завод, оснащенный передовой техникой.

1956 г. – на Алчевском металлургическом заводе введена в эксплуатацию крупнейшая в Европе мартеновская печь.

2. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Металлы относятся к числу наиболее распространенных конструкционных материалов, которые человек использует для обеспечения своих жизненных потребностей. Благодаря своим разнообразным свойствам, неисчерпаемым возможностям, они незаменимы во многих областях техники. Если в каком-либо металле не удается получить требуемый комплекс свойств, то есть выход. Свойства эти набирают от разных металлов, создавая в них композицию – сплавы.

Само слово «металл», ныне распространенное во многих языках, происходит от греческого слова «металла», что значит жила, так как руды, прежде всего меди и олова, встречались в горных породах в виде жильных месторождений.

Металлы у человека появились не вдруг и не в результате какого-то резкого скачка, а входили в жизнь людей постепенно. Принято считать «доисторическими» семь металлов: золото (Au), серебро (Ag), медь (Cu), железо (Fe), олово (Sn), свинец (Pb) и ртуть (Hg). Нельзя точно сказать, когда человек начал добывать и обрабатывать металлы (сплавы). Можно предполагать, какой из металлов первым нашел применение. Очевидно, это были металлы «чистого» происхождения (самородные), которые встречаются в природе. В первую очередь, это относится к золоту и меди (хотя железо тоже может встречаться в «чистом» виде, например в метеоритах). Однако золото было не пригодно для приготовления орудий труда и войны, поэтому человек предпочитал медь. Период, в который стали использовать медь как материал для изготовления орудий труда и войны, называется медным веком. Медный век длился 1000 лет, его сменил бронзовый, который длился вдвое больше. Бронзовый век сменился железным. В центральной Европе железный век начался в период 1000-450 гг. до нашей эры и продолжается до наших дней.

В настоящее время известны 117 элементов периодической таблицы Д.И. Менделеева, 83 из них – это металлы. Они составляют четверть всей массы земной коры. Алюминий – самый распространенный металл на Земле (рис. 7). Он занимает третье место после кислорода и кремния и первое среди металлов.

В России исторически сложилось деление всех металлов на две группы – черные и цветные. Черные металлы имеют темно-серый цвет, большую плотность, высокую температуру плавления. К черным ме-

таллам относятся железо и железные сплавы (стали, чугуны и ферросплавы), а также хром, марганец.

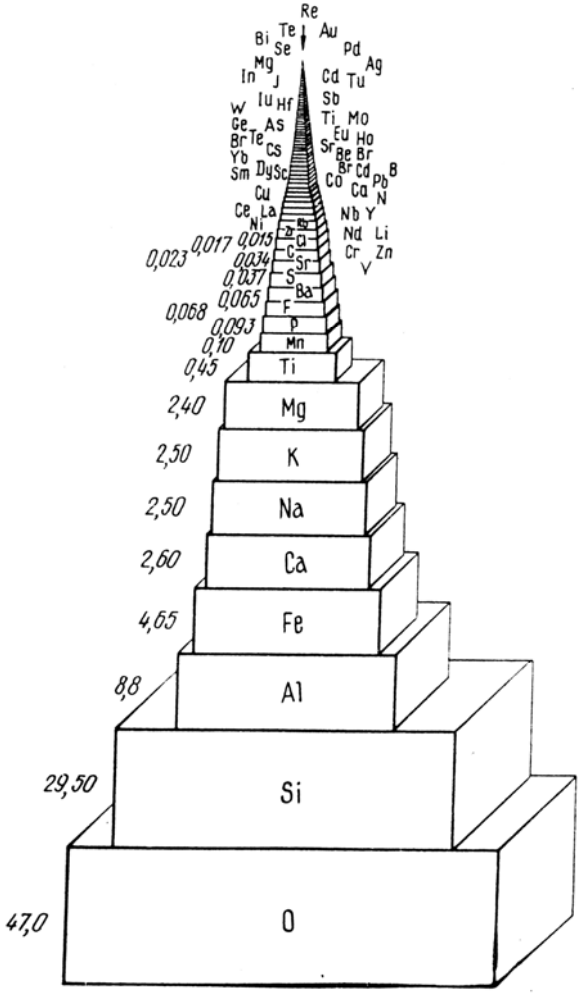

Рис. 7. Распределение элементов в земной коре

Цветные металлы чаще всего имеют характерную окраску: красную, желтую, белую. Обладают большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления. Наиболее типичными металлами этой группы являются медь, алюминий, магний, титан, свинец, золото, серебро, платина и др.

Все металлы объединяются во множество замечательных сплавов: коррозионно-стойких, жаропрочных, магнитных, электротехнических, пружинных и т.д.

Самое почетное место в семье сплавов занимают стали. Основные составляющие стали – это железо и углерод. Содержание углерода невелико, но зато оно определяет поведение стали. Чем больше углерода, тем тверже и неподатливей металл. Если углерода больше двух процентов, то такой сплав называют чугуном. Он отличается высокой хрупкостью, поэтому изделия из чугуна получают в основном с помощью литья.

Наиболее удивительной, можно сказать, легендарной сталью был булат. Его родина – страны Древнего Востока – Индия, Египет, Сирия. Изделия из булата обладали уникальными свойствами: высокой прочностью, упругостью, отличной способностью к затачиванию. Булатный клинок, который можно было согнуть дугой, пробивал железные доспехи и рассекал подброшенный в воздух шелковый платок. Секрет стали не столько в ее составе (он был прост – железо и углерод), сколько в чистоте исходных материалов (руды и угля), а главное – в обработке (ковке, нагреве, охлаждении). Только что откованный клинок подвергали закалке – ускоренному охлаждению в воде, растворе солей, в потоке воздуха. Таким образом, древние металлурги знали и умело использовали еще одно свойство металлов – способность увеличивать прочность и упругость при быстром охлаждении из нагретого состояния.

Если в сталь добавлять различные легирующие элементы, то сталь приобретает удивительные свойства, позволяющие работать в пламени реактивных двигателей и в ледяном холоде криогенных установок, противостоять разъедающему действию агрессивных веществ. Всего доли процента ванадия придают стали исключительную упругость и высокую прочностью. Из ванадиевой стали изготовляют самые

ответственные детали автомобилей и самолетов (валы, оси, шестерни, рессоры). Марганец делает сталь стойкой к истиранию (износу). Поэтому марганцевая сталь идет на изготовление зубьев ковшей экскаваторов, гусеничных траков, деталей мельниц и дробилок. Хром и никель – непременные составляющие коррозионностойких (нержавеющих) сталей.

Чаще всего приходится иметь дело со сталями конструкционными – из них изготовляют большинство деталей машин и строительных конструкций. Для наиболее ответственного назначения служат легированные конструкционные стали (никелевые, хромистые, марганцевые и др.). Стали маркируют буквами, которые означают соответствующий легирующий элемент, и цифрами, которые указывают содержание данного элемента. Легирующие элементы имеют следующие обозначения: хром – Х, никель – Н, кремний – С, марганец – Г, титан – Т, молибден – М, ниобий – Б, вольфрам – В, ванадий – Ф, алюминий – Ю, медь – Д, бор – Р, кобальт – К.

В обозначении марки стали первые две цифры указывают содержание углерода в сотых долях процента, а цифры, стоящие после каждой буквы, – процентное содержание данного элемента. Если содержание легирующего элемента меньше или равно одному проценту, то цифра после буквы не ставится. Например, сталь 40ХН содержит 0,40% углерода и по 1% хрома и никеля.

Резцы, сверла, фрезы, штампы и все остальные инструменты изготавливают из инструментальной стали, которая бывает двух видов – углеродистая и легированная. Углеродистые стали маркируют буквой У и цифрой, указывающей содержание углерода в десятых долях процента: У7, У8 и так далее до У13. К легированным сталям относятся те, которые содержат молибден, ванадий, хром и кобальт.

В самолетостроении, электронике, приборостроении широкое применение находят сплавы на основе цветных металлов. Большой класс алюминиевых сплавов представляют хорошо известные дуралюмины, содержащие, кроме алюминия, медь, магний и марганец.

Медные сплавы – это латуни и бронзы. Латуни – сплавы меди с цинком и другими элементами – маркируют буквой Л и цифрой, указывающей содержание меди, например латунь Л90 содержит 90% меди,

остальное цинк. Сплавы меди с оловом, цинком и свинцом называют бронзами. Их маркируют буквами Бр, за которыми следуют буквы и цифры, обозначающие легирующие элементы и их содержание. Например, в бронзе Бр.ОЦС 8-4-3 содержится 8% олова, 4% цинка и 3% свинца.

Все вещества делят на аморфные и кристаллические. Принципиальное отличие их друг от друга состоит в расположении атомов, что определяется ближним и дальним порядком. *Ближний порядок* – это система расположения атомов, распространяющаяся на несколько межатомных расстояний. *Дальний порядок* – это система расположения атомов, распространяющаяся до микро- и даже макроскопического уровня. *Кристаллические тела* при нагреве остаются твердыми до определенной температуры, называемой температурой плавления, после которой резко и скачкообразно изменяются свойства (плотность, св. энергия, энтропия и др.). *Аморфные вещества* при нагреве размягчаются в широком интервале температур, переходя в вязкое, а затем и жидкое состояние (стекло).

В твердом состоянии все металлы и сплавы характеризуются кристаллическим строением, то есть периодичностью расположения атомов (ионов) в узлах решетки. Связь между ионами и свободными электронами осуществляется электростатическими силами и называется металлической связью. Таким образом, металл представляет собой некую решетку, в узлах которой находятся ионы, омываемые свободными электронами.

Кристаллическая решетка – это воображаемая пространственная сетка, в узлах которой находятся ионы. Чаще всего все металлы и сплавы имеют следующие виды кристаллических решеток:

– объемно-центрированная кубическая (ОЦК): Fe_{α}, Cr, W, Ti_{β};

– кубическая гранецентрированная (ГЦК): Fe_{γ}, Al, Cu, Ni;

– гексагональная плотноупакованная (ГПУ): Mg, Zn, Ti_{α}.

Реальный кристалл характеризуется несовершенствами строения, основными видами которых являются:

1) точечные дефекты (вакансии, внедренные и замещенные атомы);

2) линейные дефекты (дислокации краевые, винтовые и смешанные).

Реальные металлы состоят из большого количества кристаллов (кристаллиты). Такое строение называется *поликристаллическим*, то есть состоящим из большого количества зерен. Такое строение характеризуется следующими дефектами:

1) поверхностные (границы зерен, блоков, фрагментов);
2) объемные (поры, трещины, включения).

Анизотропия – это различие свойств среды в разных направлениях. Все кристаллы анизотропны, а аморфные вещества изотропны, так как имеют одинаковую плотность атомов в различных направлениях. Анизотропия кристаллов объясняется различием плотности упаковки атомов различных кристаллографических направлениях и плоскостях.

Металлы и сплавы имеют поликристаллическую структуру, то есть состоят из множества различно ориентированных кристаллов, что позволяет рассматривать их как изотропные.

При нормальных (20ºС) температурах все кристаллы имеют обычную кристаллическую решетку (ОЦК, ГЦК, ГПУ). Однако при изменении температуры (нагрев), давления окружающей среды и других условий кристаллическая решетка может менять расположение атомов. Существование металлов в нескольких кристаллических формах называется *полиморфизмом,* или *аллотропией*. Аллотропия металлов обозначается буквами греческого алфавита (α, δ, β, γ и др.) с добавлением элемента (например, Fe_{α}, Fe_{γ}, Ti_{α} и др.)

На рис. 8 приведена аллотропия железа.

Некоторые металлы (Fe, Co, Ni) обладают свойствами намагничиваться, то есть являются *ферромагнитными*. Однако при нагреве ферромагнитные свойства теряются. Полная потеря этих свойств происходит при определенной температуре, называемой *точкой Кюри*. Для железа это 768 ºС. Магнитное превращение не связано с аллотропией металлов, а вызвано взаимодействием электронных оболочек атомов.

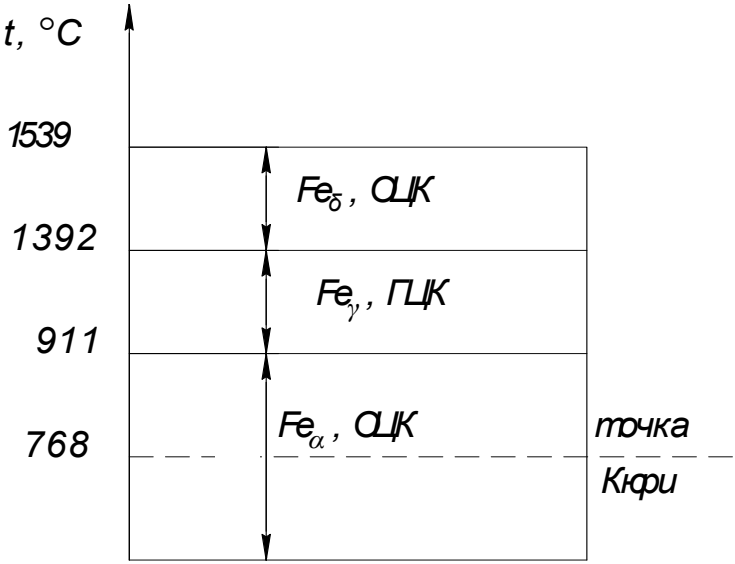

Рис. 8. Аллотропия железа

Химические свойства определяются химическим составом металла, то есть содержанием основы сплава, легирующих компонентов и примесей. Химические свойства характеризуются способностью металлов и сплавов вступать в соединение с различными элементами и веществами: кислородом, кислотами, щелочами и др. Металлы характеризуются *коррозией* (химическое разрушение под действием агрессивных сред) и *окалиностойкостью,* или *жаростойкостью* (стойкость к окислению при нагреве).

К физическим свойствам металлов относят, главным образом:

— цвет,
— плотность,
— температуру плавления,
— теплопроводность,
— теплоемкость,
— тепловое расширение,
— электропроводность,
— магнитные свойства и др.

К механическим свойствам относят характеристики прочности:

– предел упругости,
– предел текучести,
– предел прочности,
– твердость по Бринелю, Роквеллу или Виккерсу.

Характеристики пластичности и вязкости:
– относительное удлинение,
– относительное сужение,
– ударная вязкость.

Технологические свойства характеризуются:
– обрабатываемостью резанием,
– свариваемостью,
– деформируемостью,
– литейными свойствами.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие тела называют металлическими?
2. Назовите наиболее распространенные металлы на земле.
3. Что такое черные металлы?
4. Какие металлы относят к цветным?
5. Приведите примеры тугоплавких металлов.
6. Чем отличается сталь от чугуна?
7. Расшифруйте состав нержавеющей стали Х18Н10Т.
8. Какие металлы входят в состав бронзы и латуни?
9. Как в Древней Руси получали крицу?
10. Перечислите типы кристаллических ячеек в металлах.
11. Какую кристаллическую ячейку имеет алюминий? цинк? хром?
12. Что понимают под аллотропией металлов?
13. Перечислите физические свойства металлов.

3. МЕТАЛЛУРГИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Металлургия – отрасль промышленности, производящая металлы и сплавы из руд и отходов. *Металлы* – это фундамент человеческой цивилизации, так как жизнь человеческого общества немыслима без металлов, как она немыслима без машин, механизмов, приборов.

Металлургия является комплексной отраслью. Полный металлургический передел включает следующие этапы:

1. Геологические изыскания полезных ископаемых.
2. Добыча руд.
3. Подготовка руд.
4. Извлечение металлов или их соединений из руд. Рафинирование металлов.
5. Переработка металлов и сплавов в заготовки и изделия.

На рис. 9 приведены некоторые технологические схемы, используемые в черной металлургии:

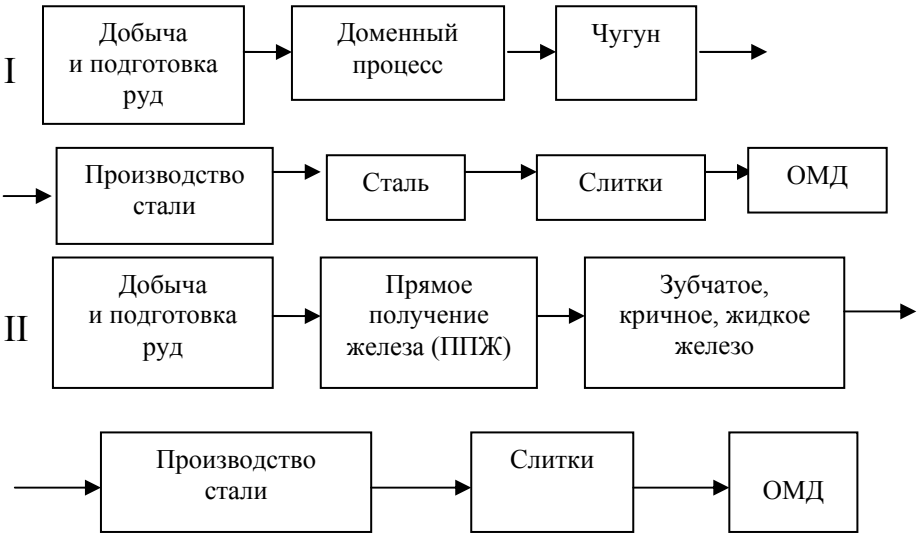

Рис. 9. Технологические схемы в черной металлургии

Для приготовления металлов и сплавов заданного химического состава применяют исходные материалы. Такие материалы называются *шихтовыми,* или *шихтой.* В состав шихты могут входить: рудные и нерудные материалы, отходы производства, первичные материалы, подготовительные сплавы (ферросплавы и лигатуры), флюсы и модификаторы.

Сырьевую базу металлургии представляют топливо, огнеупоры, руды и флюсы.

Топливо служит для разогрева и расплавления шихтовых материалов. В состав топлив входят горючие компоненты (углерод, водород, сера, углеводороды), негорючие (зола), влага. По агрегатному состоянию различают жидкое, твердое и газообразное топливо. По степени подготовки топливо делится на естественное и искусственное. *Естественное* – это древесина, уголь, торф, нефть, природный газ. *Искусственное* – кокс, древесный уголь, пылевидное топливо, мазут, лигроин, смолы, коксовый газ, доменный газ. Важнейшим из них является *кокс* – основное топливо доменных печей. Кокс получают нагревом углей без доступа воздуха при температурах 1100-1200 ºС. Кроме кокса, при этом получают горючий коксовый газ, а также ценные химические продукты: бензол, толуол, смолы.

Огнеупоры служат для строительства и футеровки плавильных агрегатов, нагревательных устройств, ковшей, тиглей, желобов и других устройств. Огнеупоры – это окислы химических элементов. По химическому составы огнеупоры делятся на кислые (SiO2), основные (CaO, MgO и др.) и амфотерные (Al2O3 Cr2O3). В зависимости от физико-химической природы исходных материалов все отечественные огнеупоры делят на классы: кремнезёмистые, алюмосиликатные, магнезиальные, хромистые, цирконийсодержащие, углеродистые, специальные окисные, карбидные и нитридные (карборундовые).

В зависимости от химического состава огнеупоров печи бывают кислые и основные, и процессы, проводимые в них, также кислые и основные. Например, кислый мартеновский, основной электродуговой и др. В печах (рис. 10), кроме основного продукта, получают *шлаки*, которые по химическому составу также бывают кислыми и основными.

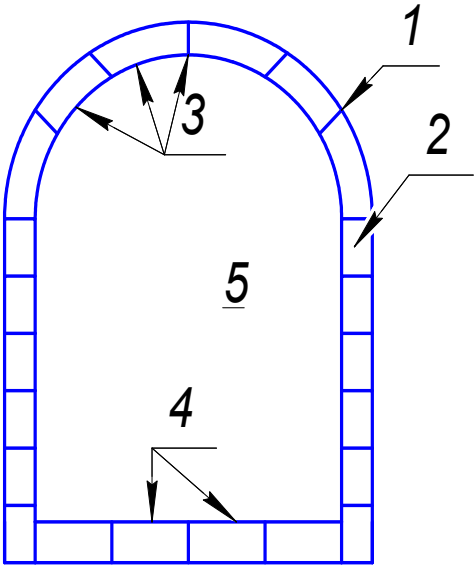

Рис. 10. Принципиальная схема печи:
1 – металлический кожух; 2 – футеровка (кладка); 3 – свод,
4 – под; 5 – рабочее пространство

Назначение *флюсов* зависит от цели металлургического производства. Так, в доменных печах флюсы служат для перевода пустой породы и золы кокса в шлак. По химическому составу различают флюсы кислые, основные и глиноземистые. Отечественные железные руды имеют кислую пустую породу, поэтому применяют основные флюсы (известняк $CaCO_3$). В печи он разлагается по реакции

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2.$$

В современных доменных печах известняк в чистом виде не вводят, а применяют офлюсованный англомерат (это спеченная железная руда совместно с известняком).

Руда – это горная порода, из которой экономически целесообразно извлекать металлы и их соединения. Экономическая целесообразность определяется содержанием извлекаемых элементов и характеризуется величиной браковочного предела. Руды называют по извлекаемым элементам: железные, медные, медно-никелевые, полиметаллические и др. По составу минералов руды бывают окисленные, сульфидные и др.

Производство чугуна

Чугун – это железоуглеродистый сплав, содержащий более 2,14 % углерода. В состав чугунов входят также постоянные примеси (кремний, марганец) и вредные примеси (сера, фосфор). Сера придает сталям красноломкость, то есть хрупкость при повышенных температурах, а также ухудшает литейные свойства чугунов. Фосфор придает сталям хладноломкость, то есть хрупкость при пониженных температурах, но повышает литейные свойства чугуна.

Чугуны получают в различных плавильных агрегатах, но главным образом в доменных печах. Основной продукт плавки в доменных печах – это *передельный чугун*, который является главным продуктом черной металлургии. Этот чугун идет на производство стали. Он содержит примерно 3,8-4,0 % углерода.

В состав шихты доменной печи могут входить руда, известняк, офлюсованный агломерат, кокс.

Современная доменная печь – это печь шахтного типа с характерным профилем (рис. 11). *Профиль* – это внутреннее очертание пространства печи.

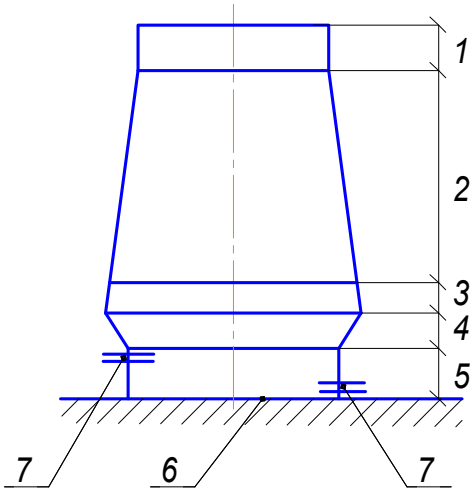

Рис. 11. Профиль доменной печи:
1 – колошник, 2 – шахта, 3 – распар, 4 – заплечики,
5 – горн, 6 – лещадь, 7 – летки

Шихта загружается сверху через колошник и движется вниз навстречу газовому восстановительному потоку. Протекают процессы восстановления окислов, образование чугуна и шлака. Чугун и шлак накапливаются в горне печи, здесь же находятся устройства (летки) для выпуска этих продуктов. Обычно печи имеют одну или две шлаковые летки и одну чугунную летку.

Доменный процесс – это восстановительный процесс. В ходе плавки восстанавливаются железо, кремний, марганец, фосфор и растворяются в чугуне. Восстановителями в печи являются газы (CO и H2) и углерод C. Восстановление газами называется косвенным, и оно протекает до 800-900 ºC. Восстановление углеродом называется прямым. Прямое восстановление начинает протекать с 1110 ºC.

Восстановление окислов железа идет по следующим стадиям:

1. при t<570 ºC $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow Fe$;
2. при t>570 ºC $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$.

Восстановление кремния происходит по реакции

$SiO_2+2C \rightarrow Si+2CO$.

Восстановление марганца осуществляется как окисью углерода, так и углеродом по схеме:

$MnO_2 \rightarrow Mn_2O_3 \rightarrow Mn_3O_4 \rightarrow MnO \rightarrow Mn$.

Восстановление фосфора протекает по реакции

$(CaO)3P_2O_5+ C \rightarrow P+CaO+CO$.

В условиях доменной плавки фосфор восстанавливается, растворяется в чугуне и, таким образом, фосфор из чугуна удалить нельзя.

Серу переводят в соединения, не растворимые в чугуне, но растворимые в шлаке. Таким образом, серу переводят в шлак. Для этого необходимо сформировать высокоосновный шлак (CaO). Протекает реакция:

[FeS]+(CaO)→(CaS)+([FeS]), где скобки означают:

[] – элемент, соединения, растворимые в железе,

()– элемент, соединения, растворимые в шлаке.

Основными продуктами доменного процесса являются:

1. Чугуны. Они бывают:

- передельные (для передела на сталь),
- литейные (производство фасонных отливов),
- специальные, или доменные ферросплавы (доменный ферромарганец – до 75% Mn, бедный перосилидий – до 9-18% Si, зеркальный чугун – до 10-25% Mn).

2. Доменные шлаки, в состав которых входят окислы различных элементов, главным образом CaO, MgO, Al2O3, SiO2, FeO и сульфид кальция CaS.

Шлаки применяются для производства цемента и других строительных материалов (шлаковата, шлакоблоки и т. д.).

3. Доменный (колошниковый) газ, в состав которого входят CO, CO2, H2, H2O, CH4 и др. Это ценный горючий газ с теплотой сгорания 850-950 ккал/м³. Смешивая коксовый и доменные газы, получают смешанный газ, который является топливом для воздухонагревателей. Воздухонагреватели служат для нагрева холодного воздуха до 1000 ºС, после чего воздушное дутье подается в печь.

Производство стали

Сталь – это железоуглеродистый сплав, содержащий менее 2,14 % углерода, а также постоянные примеси – кремний, марганец и вредные – сера и фосфор. Все стали классифицируют по различным признакам: составу, структуре, назначению и др. Стали можно получать в конвертерах, мартенах, электропечах и САНДах (сталеплавильных агрегатах непрерывного действия). Обычно на практике применяют плавку с окислением и без окисления. Рассмотрим особенности выплавки стали в различных плавильных агрегатах.

Конверторные процессы

Впервые этот процесс был предложен в 1855 г. англичанином Бессемером. Получил название *бессемеровский процесс*. Суть способа состоит в продувке жидкого чугуна воздухом в специальном агрегате, который называется конвертером. Конвертер представляет собой сосуд грушевидной формы, включенный в металлический кожух и футерованный изнутри динасом (не менее 94 % SiO_2). Таким образом, это кислый процесс, и здесь окислителем является кислород воздуха.

В 1878 г. Томас предложил продувать жидкий чугун в конверторах с основной футеровкой (доломит). Таким образом, *томасовский процесс* – это основной процесс. Он позволяет перерабатывать фосфористые чугуна.

Кислородно-конверторный процесс. Современный конверторный процесс является основным в производстве стали в России. Он сводит-

ся к выплавке стали в конвертерах с основной футеровкой и продувкой кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму.

Мартеновский процесс

Мартеновская печь – это отражательная печь, снабженная регенераторами. Топливом служит жидкое (мазут) или наиболее широко применяемое газообразное топливо (природный газ). Таким образом, здесь топливом служит CH_4, а окислителем – воздух. Проходя через регенераторы, топливо и окислитель нагреваются и подаются в печь. На поду печи находится шихта, которая под действием пламени расплавляется. Таким образом, *мартеновский процесс* – это процесс на поду пламенной отражательной печи. Конструкция печи была разработана немецкими инженерами Сименсами, а в 1864 г. француз Мартен впервые получил сталь в такой печи.

В зависимости от материалов футеровки процессы бывают кислые и основные.

В зависимости от состава шихты различают:

– скрап-процесс (шихта состоит из металлолома и чугуна),
– скрап-рудный процесс (шихта состоит из скрапа, чугуна, железной руды).

Электрометаллургия

Это выплавка сталей и сплавов в электропечах за счет джоулевого тепла (сопротивления). В электродуговых печах источником тепла являются электродуги, которые горят между угольным электродом и шихтой. В индукционных печах тепло создают вихревые токи.

Переплавные процессы («спецметаллургия»)

Спецпереплаву подвергают слитки и заготовки, полученные обычными способами (конвертер, мартен, электропечь). К переплавным процессам относят вакуумный индукционный (ВИП), вакуумный дуговой (ВДП), электрошлаковый (ЭШП), электронный лучевой (ЭЛП) и плазменный дуговой (ПДП) переплавы.

Вакуумный индукционный переплав. По принципу действия вакуумные индукционные печи делятся на периодические и полунепрерывные. В качестве примера на рис. 12 приведена схема печи полунепрерывного действия.

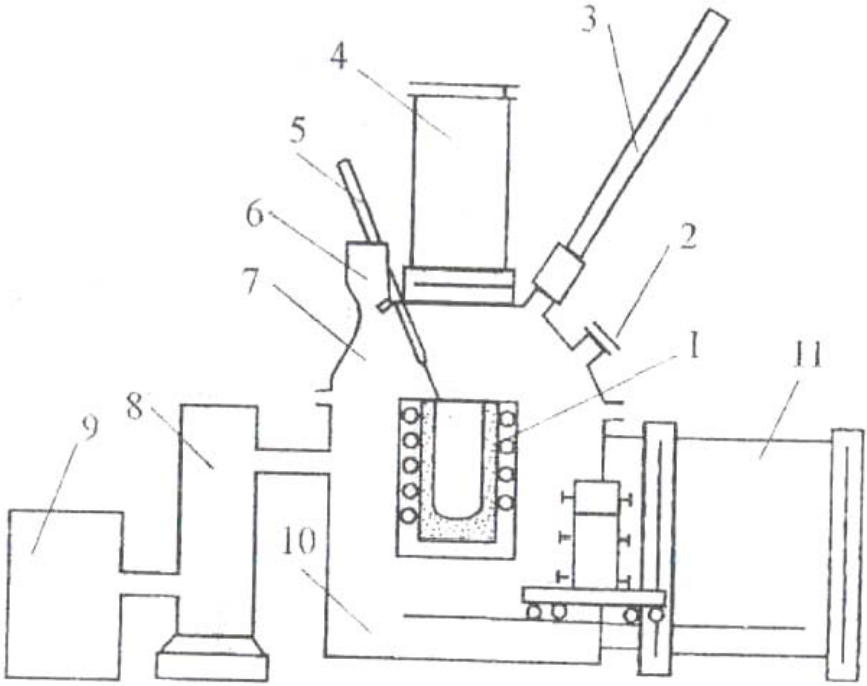

Рис. 12. Схема печи ОКБ571Б:
1 – тигель; 2 – смотровое окно; 3 – термопара; 4 – камера загрузки шихты; 5 – ломик осаживания шихты; 6 – дозатор; 7 – съемная крышка; 8 – бустерный насос; 9 – форвакуумный насос; 10 – камера; 11 – камера охлаждения

Вакуумный дуговой перплав. Дуговые печи делятся на *печи с нарасходуемыми электродами* (обычно из вольфрама или графита) и *печи с расходуемыми* (расплавляемыми) *электродами*, имеющими тот же состав, что и получаемый металл. Печи с нерасходуемыми электродами применяются для выплавки тугоплавких металлов из шихты соответствующего состава, имеют сравнительно небольшие размеры и распространены незначительно. Для стали, титана и ряда сплавов применяются преимущественно печи с расходуемыми электродами. В этих печах металл полностью затвердевает в водоохлаждаемом кристаллизаторе, образуя слиток (рис. 13).

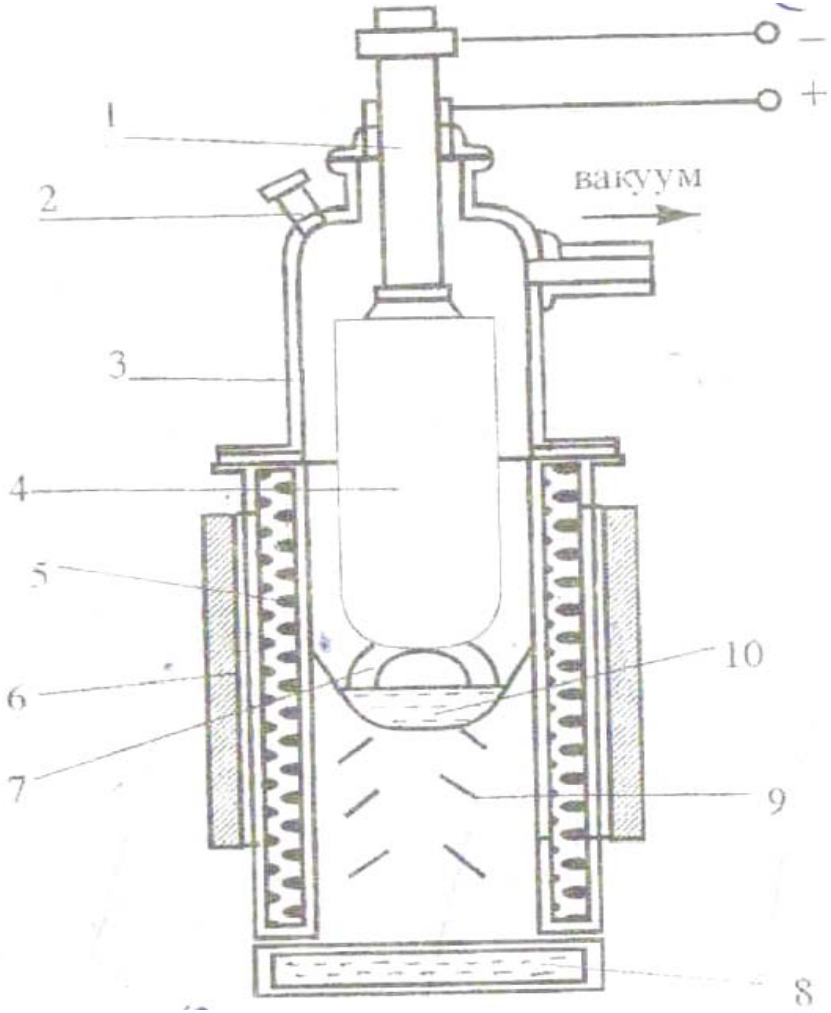

Рис. 13. Вакуумная дуговая печь:

1 – шток; 2 – смотровое окно; 3 – крышка; 4 – расходуемый электрод; 5 – кристаллизатор; 6 – соленоид; 7 – электродуга; 8 – поддон; 9 – слиток; 10 – ванна жидкого металла

Электрошлаковый переплав. Схема установки показана на рис. 14.

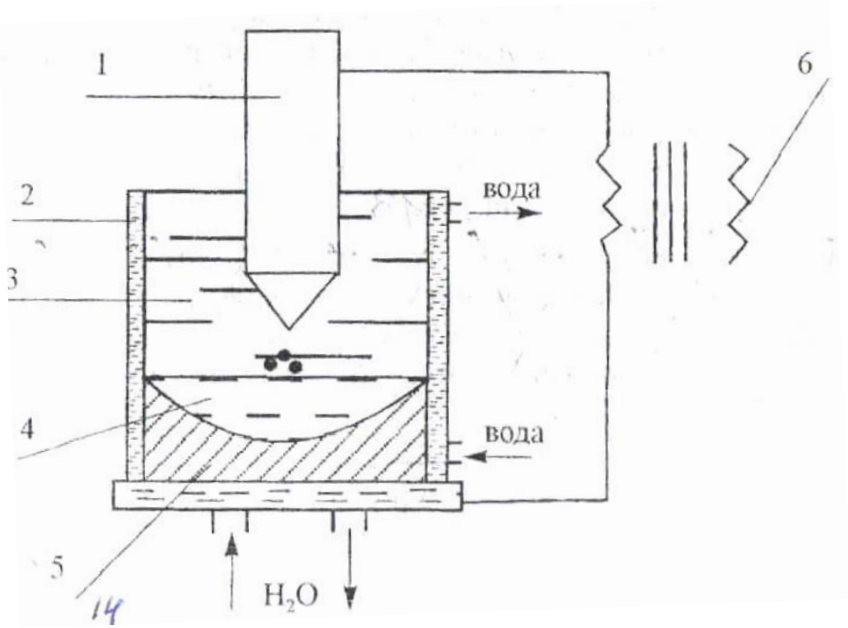

Рис. 14. Схема ЭШП:
1 – расходуемый электрод; 2 – кристаллизатор; 3 – шлак; 4 – ванна металла; 5 – слиток; 6 – источник питания

Суть способа состоит в следующем. При прохождении переменного тока через слой шлака с большим электросопротивлением выделяется тепло, которое расплавляет расходуемый электрод. Капли металла, проходя через слой шлака, очищаются от оксидных и сульфидных включений. Основу шлака (флюса) составляет CaF2 с добавками различных оксидов (CaO, Al2O3 и др.)

Электронно-лучевой переплав. В электронно-лучевых печах плавление шихты производится за счет энергии, которая выделяется при резком торможении свободных электронов. Пучок этих электронов направлен на металл (шихту). Принципиальная схема такой установки показана на рис. 15.

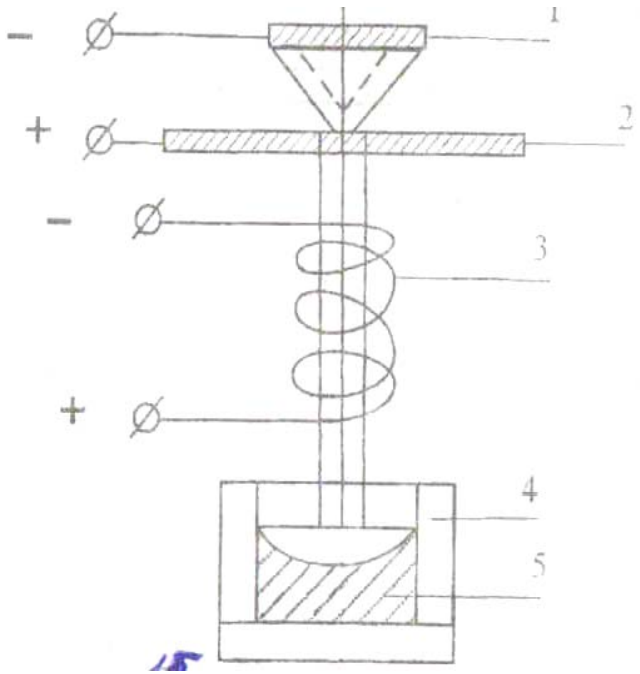

Рис. 15. Схема ЭЛП: 1 – катод; 2 – анод; 3 – фокусирующее устройство; 4 – кристаллизатор; 5 – слиток

Плазменно-дуговой переплав. В этих установках источником тепла является высокотемпературная плазма, т. е. ионизированный газ с температурой до 3000 ºС. Для этого применяют горелки с плазменной дугой, которая горит между катодом и шихтой.

Производство алюминия

Температура плавления алюминия 660 ºС, плотность 2,7 г/см^3, тип кристаллической решетки – ГЦК.

Основными видами исходного сырья для производства алюминия являются бокситы, алуниты, каолины, нефелины. Важнейшим из них являются бокситы.

В бокситах алюминий представлен в виде гидроокисей, глинозема Al_2O_3 и каолинов. Важнейшим промышленным способом получения алюминия является электролитический. Он основан на электролизе глинозема (Al_2O_3), растворенного в расплавленном криолите $3NaF \cdot AlF_3$ [1,2].

Глинозем и криолит в чистом виде в природе не встречаются, их получают искусственно. В состав электролитов могут входить 80-95 % криолита, до 8-10 % глинозема, а также добавки NaCl и CaF_2 для снижения температуры плавления электролита. Процесс ведут в специальных электролизерах. Анодом служит угольный электрод, а катодом – расплавленный алюминий, который накапливается в подине ванны. Катодный процесс сводится к разряду ионов алюминия по схемам:

$Al^{3+}+3e \rightarrow Al$

$Al^{3+}+2e \rightarrow Al^{+}$ (неполный разряд)

$Al^{+}+e \rightarrow Al$

Первая схема является определяющей.

Анодный процесс сводится к разряду ионов кислорода на угольном аноде с последующим окислением углерода анода и выделением CO и CO_2. При этом расходуется глинозем электролита и углерод анода.

Алюминий рафинируют следующими способами:

– пропусканием газообразного хлора через расплав алюминия или обработкой этого расплава хлористыми солями,
– способом спокойного отстаивания.

В процессе этих способов рафинирования удаляются, главным образом, неметаллические и газообразные примеси, а также некоторые металлические примеси. На этом этапе получают первичный алюминий со степенью чистоты 99,5-99,85%. Для дальнейшей очистки от примесей применяют электролитическое рафинирование по 3-х слойному способу (чистота алюминия 99,997 %).

4. СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Все машины и механизмы, которые использует человек, состоят из сотен и тысяч самых разнообразных деталей – от миниатюрных и сверхточных (часы), до многотонных и тоже весьма точных (судовой двигатель).

Металл, используемый при изготовлении деталей, имеет разную форму, разные размеры и физические свойства. Форма металлических деталей может быть простой (лист, лента, проволока) и очень сложной (корпус насоса, коленчатый вал двигателя самолета, автомобиля). О разнообразии размеров металлических деталей можно судить по следующим примерам: листы (плиты) могут быть толщиной 500 мм и более, а ленты – толщиной 2 мкм и менее; масса деталей гидротурбин и блюмингов достигает нескольких десятков тонн.

При создании машин и механизмов первая задача – это начертить деталь и заказать для нее металл. Вторая задача более сложная – сделать из металла деталь в соответствии с чертежом (рис. 16).

Рис. 16. Схема постановки инженерной задачи

В современной технике уже известно много различных способов придания металлам требуемой формы. Среди них наиболее распространенными, массовыми способами в промышленности пока что остаются литье, обработка металлов резанием, сварка и обработка металлов давлением.

При литье сначала изготавливают модель детали из какого-нибудь легко обрабатываемого материала, например дерева. Затем по модели получают полую форму и заливают в нее под влиянием силы тяжести жидкий металл. После остывания металла получают отливку требуемой формы.

Для лучшего заполнения сложных форм и при недостаточном давлении применяют литье под давлением и центробежное литье. В этих процессах наряду с лучшим заполнением формы несколько повышается качество отливок.

Большое значение имеет литье как способ придания металлу сложной формы готового изделия, подвергающегося в дальнейшем термической обработке и обычно обработке резанием. Литье применяют также для получения полупродукта с последующей его обработкой давлением – ковкой и прокаткой. До последнего времени основным видом полупродукта были слитки.

В настоящее время широко внедряют метод непрерывной разливки металла. При этом получают полупродукт квадратного, прямоугольного и круглого сечений неограниченной длины при меньшей площади сечения, чем у слитка. Это позволяет упростить передел в прокатных цехах и достигнуть значительной экономии металла за счет сокращения отходов на обрезь.

Литье как метод получения готовых деталей имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами придания формы металлу. Так, литьем можно получать изделия очень сложной формы с внутренними полостями и из хрупких металлов и сплавов. Последнее позволяет широко использовать в машиностроении дешевый чугун.

Продукция литейного производства распределяется между отраслями промышленности примерно следующим образом: машиностроение – 60 %, строительство – 20 %, металлургия – 15 %, остальное – 5 %.

Все литейное производство делят на *заготовительное* и *фасонное*.

Заготовительное литье служит для производства слитков и заготовок, предназначены, главным образом, для процессов ОМД. *Слитки* – это отливки простой формы. Слитки получают литьем в изложницы непрерывными способами.

Фасонное литье предназначено для производства деталей машин. Почти половина всех деталей машин, приборов, устройств и др. изготавливается способами литья. Все фасонно-литейное производство можно разделить на 2 группы:

1. Литье в разовые песчаные формы. На долю этого способа приходится около 80 % всех производственных отливок.

2. Специальные способы литья. К ним относятся литье в кокиль, центробежное литье, литье под давлением, литье в керамические и оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям и др.

Кокиль – это металлическая форма. *Керамическая форма* изготавливается из специальной огнеупорной смеси. *Формы по выплавляемым моделям* изготавливаются также из смеси по разовой модели, которая затем выплавляется, растворяется или выжигается, поэтому различают литье по выплавляемым, растворяемым или выжигаемым моделям. *При литье под давлением* применяют стальные пресс-формы. *При центробежном литье* применяют как разовые, так и многократные (металлические) формы. *Изложница* – это металлическая форма для изготовления крупных слитков.

И все же литые детали, даже полученные с использованием современных методов: литья по выплавляемым моделям, литья под давлением и т.п. – не обладают такими высокими механическими свойствами, качеством поверхности, точностью размеров, как полученные обработкой давлением. В отливках довольно часто присутствуют скрытые дефекты: пористость, неметаллические включения; отливки имеют крупнозернистую структуру и значительные по величине остаточные напряжения как результат неравномерного охлаждения. Все это приводит к тому, что литые детали в большинстве случаев уступают по прочности полученным обработкой давлением, особенно если эти детали воспринимают значительные силовые и ударные нагрузки.

Литьем практически невозможно получить детали очень малых сечений и большой длины, например тонкие листы, проволоку и т.п. Известные способы получения проволоки выдуванием жидкого металла через сопло, вытягиванием из расплава, а также способы получения чугунных листов заливкой металла в зазор между горизонтально расположенными валками, вращающимися в разные стороны, не могут обеспечить надлежащего качества готовых деталей и не нашли широкого применения в практике.

На машиностроительных заводах обработкой металлов резанием получают огромное количество разнообразных деталей с помощью операций сверления, точения, фрезерования, строгания, шлифования. При такой обработке механические и физические свойства металла, как правило, не изменяются. К достоинствам обработки резанием относятся высокая точность получаемых деталей и высокая степень чистоты поверхности, к недостаткам – высокая трудоемкость изготовле-

ния, низкая производительность, значительные потери металла в стружку.

Экономия металла за счет уменьшения стружкообразования будет иметь место, если заготовки для обработки резанием по форме и размерам будут максимально приближены к готовым деталям. Наиболее рациональными способами изготовления таких заготовок являются методы обработки металлов давлением и литья.

Сварку (пайку, склепывание, склеивание) можно в определенном смысле противопоставить обработке резанием, так как эти способы связаны не с уменьшением массы заготовки, а напротив, с ее увеличением. Наращивание массы заготовки с приданием ей нужной формы и размеров происходит путем добавления отдельных элементов детали, полученных другими способами: обработкой давлением, литьем или резанием.

При обработке металлов давлением готовые детали как бы вылепливают из исходной заготовки, не изменяя ее массы. Отходов при этом почти нет, чистота поверхности и точность размеров – на самом высоком уровне, производительность тоже. И что очень важно, металл, подвергнутый обработке давлением, приобретает более высокие механические свойства.

К основным процессам обработки металлов давлением относят ковку, волочение, прокатку, штамповку и прессование (рис. 17). Применение этих процессов возможно благодаря свойству пластичности – способности многих металлов и сплавов в определенных условиях под действием приложенных сил принимать необратимую форму без разрушения.

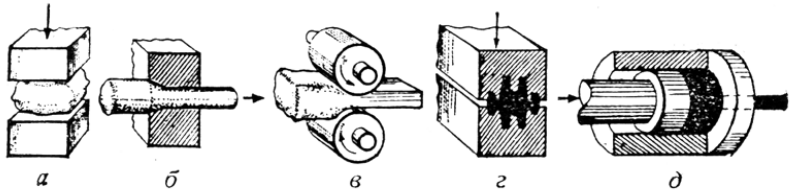

Рис. 17. Процессы обработки металлов давлением:
а – ковка; б – волочение; в – прокатка; г – штамповка; д – прессование

Наиболее легкие и прочные машины, такие как самолет, автомобиль на 80-90% от массы состоят из деталей, полученных обработкой металлов давлением.

Для реализации процессов обработки металлов давлением необходимо оборудование, как источник энергии для деформирования, инструмент и заготовки (слитки) (рис. 18).

Рис. 18. Структурная схема процессов обработки металлов давлением

Одним из наиболее распространенных в настоящее время процессов обработки металлов давлением является свободная ковка. При свободной ковке всю заготовку или ее участки подвергают воздействию бойка молота или пресса.

В настоящее время свободную ковку применяют для получения крупных поковок из слитков и для изготовления небольших партий средних и мелких поковок из прокатанного материала.

При серийном и массовом производстве мелких и средних поковок применяют объемную штамповку на прессах или молотах. В этом случае катаную заготовку помещают в полость штампа. Под воздействием давления заготовка деформируется и заполняет полости штампов.

Сложные поковки получают последовательной штамповкой заготовок в ряде штампов, форма полости которых постепенно приближается к форме готовой поковки.

Для изготовления изделий из листов, используемых при производстве автомобилей, тракторов, самолетов, посуды и т.п., широко применяют листовую штамповку.

Свободную ковку, объемную и листовую штамповки применяют в основном на машиностроительных заводах.

На металлургических заводах ковку и объемную штамповку применяют в сочетании с прокаткой при производстве бандажей, колес, труб.

Для производства прутков с различной формой поперечного сечения и труб, в том числе с внутренними и наружными ребрами, применяют прессование (выдавливание). При прессовании слиток или ка-

таную заготовку помещают в контейнер, и под воздействием пуансона металл выдавливается через отверстие матрицы.

Прессование цветных металлов получило широкое применение. До последнего времени прессование стали применяли в ограниченном объеме из-за малой стойкости матриц. Однако в связи с прогрессом в производстве высокопрочных сплавов, стойких при высоких температурах, и разработкой стеклянных смазок прессование находит применение для обработки сталей, в частности высоколегированных.

Волочение применяют при производстве проволоки, прутков и труб. Сущность процесса волочения заключается в уменьшении сечения изделия и увеличении его длины, а при изготовлении проволоки фасонного сечения изменяется и форма.

Волочение применяют иногда для получения точных размеров и чистой поверхности горячекатаных профилей, а также с целью упрочнения изделий. Волочение изделий осуществляют в основном в холодном состоянии.

Исключительно большое значение в народном хозяйстве имеет прокатка. Сущность процесса продольной прокатки заключается в том, что слиток или заготовка благодаря действию сил трения втягивается валками, вращающимися в разные стороны, в зазор между ними, обжимается по высоте и увеличивается по длине и по ширине. При этом заготовка принимает форму зазора между валками (калибра).

При производстве некоторых видов проката, в частности бесшовных труб, применяют косую прокатку.

Такие процессы обработки металлов давлением, как прокатка, волочение и частично прессование характеризуются последовательностью, непрерывностью действия инструмента на обрабатываемый металл, а свободная ковка, объемная и листовая штамповка – периодичностью действия инструмента.

Последовательные процессы являются более совершенными, чем периодические. При последовательных процессах можно применять высокие скорости обработки изделий. Кроме этого, эти процессы сравнительно легко механизировать и автоматизировать.

При объемной и листовой штамповке, волочении и прессовании в качестве исходного материала применяют катаные заготовки, листы, проволоку, трубы, а при прокатке и свободной ковке крупных поковок – слитки. Следовательно, прокатка является процессом обработки металла не только для нужд машиностроения и строительства, но и по-

ставщиком полуфабрикатов для остальных видов обработки металлов давлением.

Свыше 80% выплавляемого металла подвергается прокатке, а остальную часть металла применяют в виде фасонных отливок и крупных поковок из слитков.

Чтобы определить место обработки металлов давлением при производстве машин, нужно проследить путь от руды до готовой машины (рис.19).

Рис. 19. Путь металла от руды до машины

Заготовительная стадия осуществляется в заготовительных цехах (литейном, прокатном, штамповочном и др.). Там из исходных материалов получают заготовки будущих деталей. От качества труда рабочих и инженеров этих цехов (литейщиков, прессовщиков, прокатчиков, штамповщиков, технологов, конструкторов и др.) и технологической оснастки заготовительного производства во многом зависит расход сырья на предприятии. Чем точнее сделана заготовка, тем меньше металла снимается при обработке, тем экономичнее производство.

Стадию доводки детали проходят в механических цехах. Полученные заготовки обрабатывают на различных станках с применением разнообразных инструментов. В этом участвуют рабочие самых разных профессий: токари, фрезеровщики, слесари, шлифовщики и т.д. Готовые детали в соответствии с техническими требованиями проходят затем термическую, химическую или иную обработку в соответствующих цехах. Это повышает их износостойкость и надежность. На поверхность некоторых деталей для защиты от воздействия внешней среды наносят различные покрытия. Из обрабатывающих цехов детали поступают на сборку.

В сборочной стадии можно выделить два этапа: узловую сборку, в результате которой образуется составная часть будущего изделия (сборочная единица), и общую сборку изделия в целом. Например, в одном цехе автомобильного завода собирают двигатели, а в другом – кузова будущего изделия, это узловая сборка, а общая (окончательная) сборка идет на главном конвейере: здесь из сборочных единиц и деталей рождается автомобиль.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем преимущество обработки металлов давлением по сравнению с обработкой резанием?

2. Сколько деталей, полученных обработкой металлов давлением, вы найдете у себя на кухне?

3. Можно ли обработкой металлов давлением получить детали, годные для сборки?

4. Перечислите наиболее массовые способы придания металлам требуемой формы.

5. Как изготавливают детали литьем?

6. Перечислите основные операции обработки металлов резанием.

7. Приведите примеры деталей, конструкций, получаемых с помощью сварки, пайки, склеивания, клепки.

8. Назовите основные способы обработки металлов давлением.

9. Что представляет собой структура процессов обработки металлов давлением?

10. Каков путь металла от руды до машины?

11. Какие способы фасонного литья вы знаете?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беккерт, М. Мир металлов / М. Беккерт. – М.: Мир, 1980.

2. Дятчин, Н. И. История развития техники / Н.И. Дятчин. – Ростов н/Д.: Феникс, 2001, – 320 с.

3. Ламан, Н.К. Развитие техники обработки металлов давлением с древнейших времен до наших дней / Н.К. Ламан. – М.: Наука, 1990.

4. Мезенин, Н.А. Повесть о мастерах железного дела / Н.А. Мезенин. – М.: Знание, 1973.

5. Популярная библиотека химических элементов. Кн. 1, 2. – М.: Наука, 1983.

6. Процессы литейного производства. Термины и определения. ГОСТ 18169-86.

7. Иванов, В. Н. Словарь-справочник по литейному производству/ В. Н. Иванов. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.

8. Специальные способы литья: справочник / под общ. ред. акад. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.

Учебное издание

Каргин Владимир Родионович,
Заббаров Рахим,
Хардин Михаил Викторович

ВВЕДЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИЮ
Часть 1

Учебное пособие

Редактор Ю.Н. Литвинова
Доверстка А.В. Ярославцева

Подписано в печать 29.10.10. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 2,75. Тираж 100 экз. Заказ . Арт. С - 9/2010.

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва.
443086 г. Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета.
443086 г. Самара, Московское шоссе, 34.