



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

ИСТОРИЯ НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ И ТЕХНОЛОГИЯХ

Учебное
пособие

УМО

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИСТОРИЯ НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ И ТЕХНОЛОГИЯХ

Рекомендовано УМО РАЕ по классическому университетскому и техническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки: 150100.62 – «Материаловедение и технологии материалов», 261400.62 – «Технология художественной обработки материалов», № 521 от 29 июня 2015 г.

Красноярск
СФУ
2016

УДК 001.8(07)
ББК 72.3я73
И907

Авторы:

Ф. М. Носков, О. А. Масанский, М. М. Манушкина,
Ф. Г. Зограф, С. И. Лыткина

Рецензенты:

А. Н. Городищева, доктор культурологии, заведующий кафедрой рекламы и культурологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. В. Решетнева»;

Г. В. Панасенко, доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой управления персоналом ФГБОУ ВО «Сибирский технологический университет»

И907 **История науки о материалах и технологиях:** учеб. пособие / Ф. М. Носков, О. А. Масанский, М. М. Манушкина [и др.]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 412 с.
ISBN 978-5-7638-3354-6

В пособии представлены сведения по истории науки о материалах и технологиях, о жизни и деятельности ученых и инженеров, внесших значительный вклад в развитие материаловедения и технологии обработки материалов. Рассмотрены способы обработки материалов, особенности их открытия и применения в современной промышленности.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки: 150100.62 – «Материаловедение и технологии материалов», 261400.62 – «Технология художественной обработки материалов».

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 001.8(07)
ББК 72.3я73

ISBN 978-5-7638-3354-6

© Сибирский федеральный университет, 2016

ВВЕДЕНИЕ

История человечества неразрывно связана с материалами. Само становление человека как существа разумного стало следствием использования определенных приспособлений, орудий труда, сначала предельно простых, типа поднятой с земли палки или камня, и затем все более усложнявшихся. Ясно, что орудия труда изготовлены из определенных материалов, а человека-пользователя в первую очередь интересует, какими свойствами обладает этот материал (даже если пользователь и не отдает себе отчет в этом, как, очевидно, не задумывался об этом первобытный человек), ведь свойства материала орудия определяют область его применения.

Следовательно, материалы и технологии изготовления орудий труда из этих материалов сопровождают человечество на всем протяжении его истории начиная с самых ранних этапов формирования человека. Изучению вопросов, связанных со знакомством человека с различными материалами, областями их применения и способами обработки, посвящен предмет «История развития науки о материалах и технологиях».

Целью изучения дисциплины является формирование знаний по истории развития науки о материалах и технологиях обработки материалов в различные исторические периоды; знакомство с биографиями известных ученых-материаловедов, технологов и изобретателей; изучение перспективных направлений развития материаловедения и технологий обработки материалов. Среди возможных задач изучения дисциплины необходимо выделить следующие: анализ этапов развития науки о материалах в историческом контексте и рассмотрение ключевых открытий в области материаловедения; знакомство с историей возникновения и совершенствования технологических процессов, оснастки и оборудования, применяемого для обработки материалов; знакомство с материальными памятниками истории науки о материалах и технологиях; анализ деятельности крупнейших ученых и изобретателей.

Для усвоения дисциплины необходимо, чтобы студент в полном объеме прослушал курс «История».

Знание истории науки о материалах и технологиях важно для любого студента технических направлений и позволяет существенно облегчить понимание современных технологических процессов, упрочить

знания о материалах и подготовить студентов к изучению специальных дисциплин на старших курсах. Готовому выпускнику – в любой инженерной отрасли, связанной с машиностроением, – знание дисциплины «История развития науки о материалах и технологиях» поможет принимать грамотные технологические заключения для решения большинства задач.

Глава 1. ИСТОРИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ, КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ И ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДРЕВНОСТИ И НАШИХ ДНЕЙ

Современное представление о наличии определенных этапов развития человечества вообще и технологий обработки материалов как части общего развития появилось относительно недавно, в середине XIX века.

Сами технологии обработки материалов возникли в первобытные времена и совершенствовались тысячелетиями, параллельно с развитием человеческой культуры.

Основными материалами для изготовления орудий труда, оружия последние несколько тысяч лет служили металлы и их сплавы.

1.1. Хронологическая система исторических периодов

В истории человечества можно выделить два принципиально отличных периода – первобытный и период существования сложноорганизованных, классовых обществ. Первый из них длился много сотен тысяч лет, второй – относительно недолго. В первобытное время человек стал человеком в полном смысле слова, возникла его культура. Коллективы людей были небольшими и просто организованными, с примитивным бытом, поэтому они и называются первичными – первобытными. Сначала люди, для того чтобы добыть себе пищу, занимались собирательством и охотой, пользуясь каменными орудиями. Потом они начали культивировать необходимые растения, разводить домашних животных, строить жилища, создавать поселения. В результате эволюции человеческого общества сформировалась современная нам техническая цивилизация.

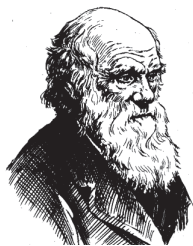
Однако следует иметь в виду, что люди совсем недавно осознали факт своего собственного развития и развития общества в целом. Сейчас трудно в это поверить, но чуть менее двухсот лет назад люди считали, что их облик и образ жизни оставался почти неизменным с момента появления человека.

В 1816 г. в Дании знатоку древней истории Христиану Томсену (1788–1865) было поручено руководство Королевской комиссией по

охране и содержанию памятников старины, предыдущая деятельность которой была неудовлетворительной. Бывший коммерсант решил поставленную перед ним задачу умело и основательно. Созданный его стараниями Национальный музей в Копенгагене – сегодня самый крупный и богатый в скандинавских странах.

Особая заслуга Томсена состояла в последовательной систематизации археологических находок. Распределяя их в хронологическом порядке в зависимости от материала, он пришел к привычному теперь для нас делению древней истории на три периода: каменный, бронзовый и железный века. Очевидно, что используемые материалы представляют собой важный признак, характеризующий качество и ступень развития орудий труда. Для доисторических времен это действительно основополагающий и определяющий критерий, но и в более поздние общественно-экономические формации он имел существенное значение.

Такое разделение на эпохи по видам материалов, из которых изготавливали орудия труда, получило признание не сразу, в течение почти ста лет эта классификация существовала как одна из гипотез.



Чарлз Дарвин
(1809–1882)

В 1859 г. была издана книга Чарлза Дарвина «Происхождение видов», в которой не говорилось о происхождении человека, но высказывалось предположение, что человек, подобно другим живым существам, тоже мог изменяться, развиваться от более простых к более сложным формам. С этого момента началась борьба между теми, кто считал возможным происхождение человека от обезьяны, и их противниками. Конечно, речь шла не об известных нам гориллах, шимпанзе или орангутангах, а о каких-то вымерших видах, предках, общих для человека и обезьян.

По-видимому, окончательную точку в вопросе развития человека и, следовательно, разделения исторических периодов (да и вообще их наличия) поставили работы Карла Маркса (1818–1883) и его последователей, идеи которых получили широкое признание в мире начиная со второй половины XIX в.

Таким образом, по материалам, из которых люди изготавливали орудия, археологи делят историю на три периода: каменный, бронзовый и железный века. Самым долгим был каменный век – он начался около 2,5 млн лет назад, а закончился за 3 тысячи лет до н. э. Бронзовый век длился более 2 тысяч лет, а приблизительно I тыс. лет до н. э. наступил

железный век, в котором живем и мы. Эти века, особенно бронзовый и железный, наступили в разных районах Земли не одновременно, где-то раньше, где-то позже. Самый долгий период – каменный век – делится на несколько эпох: древний каменный век, или палеолит (2,5 млн – 12 тысяч лет до н. э.), средний каменный век, или мезолит (12–8 тысяч лет до н. э.), новый каменный век, или неолит (8000–3000 гг. до н. э.).

Итак, большая часть истории человечества приходится именно на период первобытности. Для осознания этих цифр прибегают к аналогии. Если этот колоссальный временной период спрессовать до суток, то окажется, что в начале суток (в 0 ч) люди, еще сохранявшие признаки своих предков-животных, стали делать первые орудия. «Человек выпрямленный», питекантроп, жил между 14 и 19 часами, а древняя разновидность «человека разумного», неандерталец, – между 19 ч и 23 ч 30 мин. Поздний период каменного века – неолит – начался совсем близко к концу суток, в 23 ч 55 мин. В 23 ч 56 мин начался бронзовый век, а государства с их городами, письменностью, постоянно развивающейся техникой и сложно организованным обществом появились, да и то лишь на крохотных пятачках Земли, всего лишь 3 мин назад.

Однако общую периодизацию истории не вполне верно распространять на историю отдельных областей человеческой деятельности, таких как, например, наука и техника. Поэтому развитие технологии обработки материалов будет рассматриваться в рамках четырех основных периодов. В основу периодизации (рис. 1.1) положены качественные сдвиги в организации труда и развитии технологий обработки материалов (ТОМ), которые опирались на соответствующие открытия в науке.

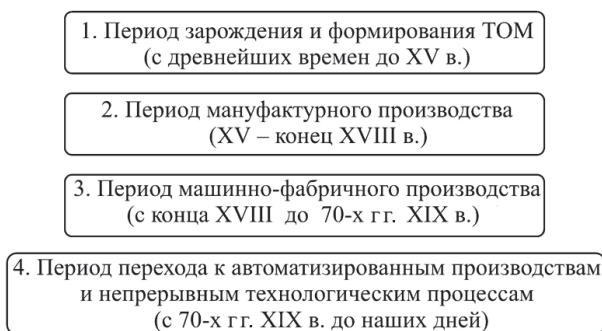


Рис. 1.1. Исторические периоды развития технологий обработки материалов

Первый, ранний этап развития техники обработки материалов охватывает период с древнейших времен до XV в. Мы рассмотрим становление древней металлургии и металлообработки. Коснемся также неметаллических материалов, применявшихся в различных областях материального производства. Техника обработки основывалась в этот период исключительно на использовании ручного труда.

Второй период характеризуется развитием технологии обработки материалов в условиях становления мануфактурного производства до первой промышленной революции (XV – конец XVIII в.). В этот период происходят значительные качественные изменения в развитии технологии обработки материалов, обусловленные как совершенствованием самих технологий и техники обработки материалов, так и широким использованием вододействующих двигателей для привода оборудования.

Третий период длился с конца XVIII в. до последней трети XIX в. Этот период, характеризующийся становлением капиталистического машинно-фабричного производства, отличается значительными качественными изменениями в металлургии и обработке материалов. Под влиянием прогресса в области машиностроения, паровой энергетики технологии обработки материалов получили широкие возможности для дальнейшего совершенствования. Этот период характеризуется строительством крупных промышленных предприятий, созданием мощного технологического оборудования.

Последний, четвертый период характеризует основные технические преобразования в обработке материалов в период с 70-х гг. XIX в. до наших дней. Здесь мы рассмотрим крупные технические сдвиги в металлургии и технологиях обработки материалов под влиянием современной научно-технической революции.

1.2. Классификация технологических процессов обработки материалов

Для изучения технологий обработки материалов необходимо рассмотреть классификацию технологических методов обработки материалов. Современная промышленность обладает широкими возможностями и разнообразнейшими способами обработки материалов. Однако так было далеко не всегда, и, приводя современную классификацию способов обработки материалов, можно невольно ввести изучающего нашу дисциплину в заблуждение, так как технологии обработки непре-

рывно совершенствовались и совершенствуются сейчас, и может создаться неверное впечатление о времени возникновения того или иного способа обработки материалов. Поэтому упрощенная классификация технологий обработки материалов (рис. 1.2) содержит указание на временной рубеж, когда соответствующая технология появилась хотя бы в самой простой, зачаточной форме. Тем не менее на соответствующие датировки следует смотреть осторожно, так как точное время внедрения большей части технологий достоверно не известно и восстанавливается с большими погрешностями. Кроме того, многие технологии, такие как сварка, появившись в отдаленное время, в течение длительного времени не имели такого большого значения, которое они имеют сейчас, когда техника существенно продвинулась вперед буквально за последние 100–150 лет.



Рис. 1.2. Упрощенная классификация технологий обработки материалов

Базой современного машиностроения является металлургия. И на протяжении большей части истории металлургия остается основой для технологического и политического лидерства отдельных государств. **Металлургия** – это группа технологий, основная цель которых – выделение металлов в чистом виде или в виде сплавов друг с другом из руд. Металлургия традиционно подразделяется на цветную и черную.

К **черной металлургии** относятся различные способы получения **железа** и сплавов на его основе: **стали** и **чугуна**. На раннем этапе развития черной металлургии люди научились получать железные заготовки – крицы. **Крица** представляла собой сгусток железа, пронизанный

шлаковыми включениями и кусочками угля. Для очистки и усреднения состава крицы после плавки многократно проковывали, в результате шлак и инородные включения выдавливались из криц, после чего из железных заготовок можно было получать изделия и даже превращать заготовки в сталь. Но до XIV в. люди не могли расплавить железо до жидкого состояния, так как не могли поднять температуру в металлургических печах до необходимых величин. Только применение механизированного дутья с приводом от водяного колеса позволило нагреть железные сплавы до расплавления и в результате получить новый продукт – чугун. В настоящее время возможности металлургии достаточно широки и мы можем плавить и чугун, и сталь, и даже железо.

К *цветной металлургии* относятся различные способы получения любых других металлов и сплавов, кроме тех, в основе которых находится железо. Первые шаги в цветной металлургии были сделаны раньше, чем в черной, – это была плавка меди, а затем и выплавка бронзы. Собственно, поэтому бронзовый век предшествовал железному.

Обработка металлов давлением (рис. 1.3) относится к древнейшей технологии обработки металлов. Она появилась еще до того, как человек научился выплавлять металлы из руд, когда первобытные люди находили самородки меди, золота и придавали им форму при помощи ударов камня. Такой простейший способ в современной классификации называется *ковка*. Особенность современнойковки, отличающая ее от других способов обработки материалов, в том, что она ведется при помощи универсального инструмента – плоских бойков (рис. 1.3, а). Универсальность подразумевает то, что любое изделие, которое мы хотели бы получить ковкой, будет обрабатываться при помощи одних и тех же бойков.

Кромековки, в современной промышленности широко используется *штамповка* – технология, внешне похожая наковку, но имеющая множество особенностей и одно принципиальное отличие отковки: штамповка ведется специальным инструментом – штампом (рис. 1.3, б). Штамп можно описать как боек (подобный тому, что используется дляковки), имеющий на своей поверхности полости. Полость штампа соответствует форме изделия, которое мы хотим получить. Это и является специализацией штампа, так как получить на данном штампе можно только одно данное изделие, для которого этот штамп предназначен.

Штамповка, в свою очередь, подразделяется на объемную и листовую. Объемная штамповка ведется из нелистовых заготовок, имеющих относительно соразмерные габариты по толщине, длине и ширине.

Листовая штамповка, как это следует из названия, обрабатывает листовые заготовки, когда толщина заготовки существенно меньше, чем длина и ширина (рис. 1.3, в).

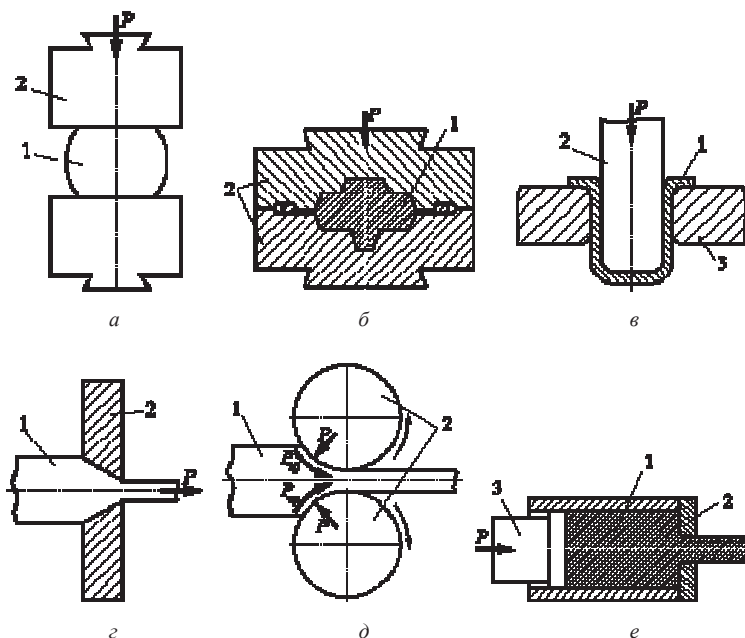


Рис. 1.3. Схемы основных технологий обработки металлов давлением: а – ковка; б – штамповка; в – листовая штамповка; г – волочение; д – прокатка; е – прессование; 1 – заготовка; 2 – инструмент; 3 – оснастка

Одним из древнейших методов обработки материалов является **волочение** (рис. 1.3, г). Суть волочения в том, что заготовку протягивают через отверстие в инструменте – волоке, заведомо меньшего диаметра, чем заготовка. Этот способ широко применялся различными народами с первобытных времен для выправления веток, предназначенных для изготовления стрел для стрельбы из лука. Со временем способ стали применять для обработки металлов. Таким способом сейчас, например, получают практически все электрические провода.

В эпоху Возрождения получил распространение еще один способ обработки металлов давлением – **прокатка** (рис. 1.3, д). Суть прокатки в том, что обрабатываемую заготовку пропускают в зазор между вращающимися валками, причем сечение заготовки заведомо больше, чем

зор. Этим способом в наше время получают огромное количество металлических заготовок, например прутки, листы и рельсы.

Еще один способ обработки металлов давлением появился в XIX в. после изобретения гидравлических прессов. Это способ **прессования** металлов (рис. 1.3, *e*). Принцип прессования заключается в продавливании заготовки через отверстие в инструменте – матрице. Внешне процесс можно условно сравнить с выдавливанием крема через кулинарный шприц. В результате прессования появляется металлическая заготовка – профиль, имеющий постоянное поперечное сечение по всей длине и большую протяженность (до нескольких десятков метров). Профили нам хорошо знакомы по оконной фурнитуре (пластиковые профили) или по трубкам из меди и алюминия (в радиаторах холодильников).

Как только люди научились плавить металл (а это произошло на рубеже III тысячелетия до н. э.), возник еще один способ обработки металлов – **литье**. Сущность литья основана на всем известном принципе, что жидкость (в том числе и жидкий металл) принимает форму сосуда, куда она помещена. Если полости в сосуде – литейной форме – придать конфигурацию того или иного изделия (рис. 1.4), то после заливки металла в форму и его кристаллизации мы можем получить это изделие.

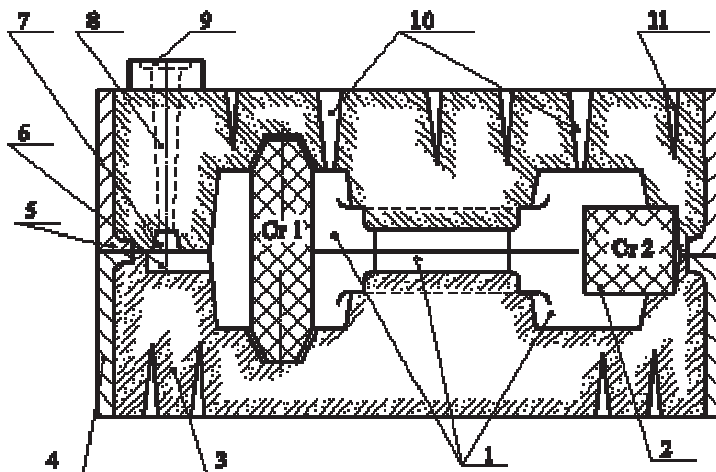


Рис. 1.4. Схема литейной формы для получения отливки рычага: 1 – полость формы; 2 – стержни для получения отверстий в отливке; 3 – формочная песчано-глинистая смесь; 4 – нижняя опока; 5 – верхняя опока; 6–9 – литниковая система (предназначена для подачи жидкого металла в полость формы); 10 – выпоры; 11 – газоканалы

Таким образом, для литья важнейшей задачей является выбор материала литейной формы и способа получения формы из этого материала. На протяжении большей части истории было известно относительно мало способов литья – в каменные, гипсовые формы и так называемые открытые формы в земле. Но по мере ускорения научно-технического прогресса изобретались все более совершенные технологии литья, обзор самых распространенных сейчас специальных способов литья будет дан в главе 5. Однако старые знания не были забыты, и многие древнейшие способы литья используются (конечно, в современном исполнении) и сейчас.

Одновременно с умением изготавливать различные металлические части сложных изделий возникала необходимость в их соединении. К способам *соединения металлических заготовок* можно отнести клепку, пайку и сварку металлов.

Клепка металлов – способ соединения заготовок, известный со времени бронзового века. Суть способа заключается в соединении заготовок специальным гвоздиком – заклепкой, которая пропускается через соединяемые заготовки и расплющивается с обеих сторон (рис. 1.5).

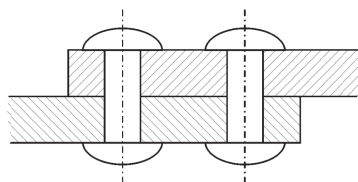


Рис. 1.5. Схема клепки металлов

Пайка – так же, как и клепка, известна со времени бронзового века. В основу пайки положена следующая особенность: если из двух металлов (например, меди и золота) сделать сплав, то температура плавления сплава будет существенно ниже, чем температуры плавления отдельных чистых компонентов сплава. Такой сплав называют припоем. Вводя припой между металлическими заготовками и нагревая их, мы можем расплавить припой, а заготовки останутся целыми. После охлаждения жидкий припой кристаллизуется и прочно соединяет заготовки между собой. Таким способом соединяют и сейчас множество изделий, начиная от электрических проводов и заканчивая ювелирными украшениями.

Сварка – это технология получения неразъемных соединений металлов путем установления межатомных связей между свариваемыми заготовками. Установить межатомные связи можно большим количеством способов, которые разделяются на две группы: сварка давлением и сварка плавлением. Как только люди научились получать железные заготовки (крицы) в простейших печах, необходимо было несколько криц объединить в одну заготовку, т. е. сварить их. Делалось это простым способом, который

сейчас называется *кузнечная сварка*: две нагретые крицы помещали друг на друга и совместно проковывали, в результате чего они сваривались. Этот способ сварки на протяжении многих веков был одним из немногих способов соединения железных заготовок без применения заклепок и хомутов. В XIX в. возникла газовая, а затем и электрическая сварка. В наше время сварка – важнейшая технологическая операция, чрезвычайно широко распространенная, без которой порой невозможно представить процесс изготовления практически любого сложного машиностроительного изделия.

Особую группу составляют технологии *обработки материалов резанием*. Суть этой технологии заключается в снятии (срезании) части материала с обрабатываемой заготовки специальным инструментом. Корни этой технологии лежат в первобытном периоде человечества, когда люди стали использовать режущий инструмент – ножи и скребки – для обработки шкур. Следующим этапом было изобретение так называемого лучкового привода, который позволил производить вращательное движение инструмента, а затем и обрабатываемой заготовки без приложения больших усилий. С течением времени технология совершенствовалась, улучшались условия вращения заготовки и ее закрепления, появлялся специальный режущий инструмент.

На протяжении большей части истории резанием обрабатывали неметаллические заготовки из дерева, кости и т. п. Только начиная с эпохи Возрождения появляется возможность обработки сначала мягких, а со временем и более прочных металлов. Металлорежущие станки претерпели несколько революционных изменений, связанных с различными принципами привода станков: от водяного колеса, от парового двигателя, от электромотора. В XIX в. произошло окончательное разделение и установилась узкая специализация станков: токарные, сверлильные, фрезерные и т. д.

При токарной обработке заготовка совершает вращательное движение, а инструмент – резец – поступательное движение вдоль нее (рис. 1.6, *а*). Таким способом получают у обрабатываемых заготовок поверхности вращения, резьбы. При фрезеровании заготовка совершает поступательное движение, а многолезвийный инструмент – фреза – вращательное (рис. 1.6, *б*). Этим способом получают плоские или фасонные поверхности (например, при прорезании зубьев у зубчатых колес). При сверлении заготовка неподвижно фиксируется, а инструмент – сверло – совершает одновременно вращательное и поступательное движения (рис. 1.6, *в*). Так получают сквозные и глухие отверстия в заготовках. При строгании заготовка и инструмент совершают поочередные поступательные движения (рис. 1.6, *г*), обрабатывая плоские или профилированные (фасонные) поверхности.

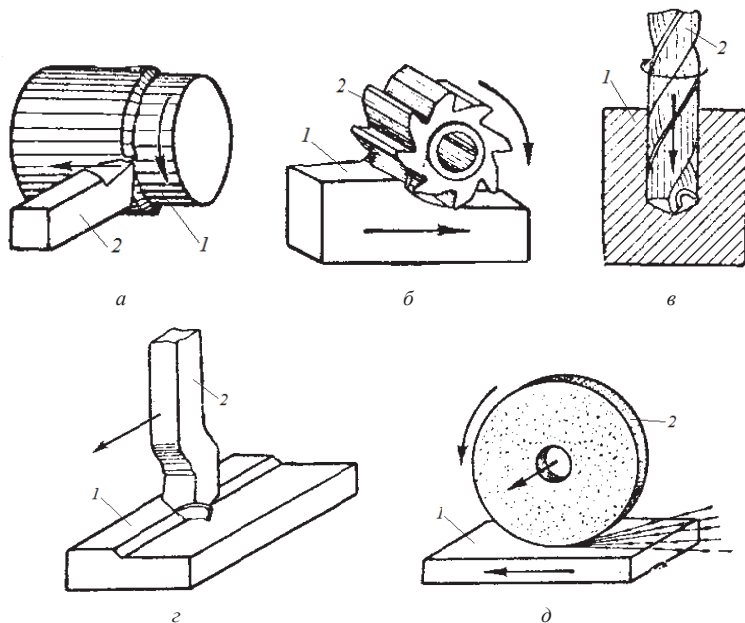


Рис. 1.6. Схемы основных технологий обработки металлов резанием: *a* – точение; *b* – фрезерование; *в* – сверление; *г* – строгание; *д* – шлифование; 1 – заготовка; 2 – инструмент

При шлифовании и заготовка, и инструмент могут совершать как поступательные, так и вращательные движения, все зависит от формы обрабатываемой поверхности (рис. 1.6, *д*). Особенность шлифования в том, что инструмент – шлифовальный круг или брусок – изготовлен из спрессованных твердых частиц, каждая из которых при обработке выполняет роль микрорезца. Поэтому после шлифования обработанные поверхности обычно имеют очень небольшую шероховатость.

1.3. Основные материалы древности и наших дней

Первыми орудиями первобытного человека, стоящего на самой низкой ступени эволюции, были палка и камень. По мере развития человека, усложнения его хозяйственной деятельности увеличилось количество материалов, которыми овладевал человек. В первобытный период основное значение имели материалы органического происхождения,

различные части деревьев, кости, раковины, шкуры животных и т. п. Большую роль играли каменные орудия труда. С течением времени человек смог сознательно отделять собственно камни от изредка встречающихся металлических самородков. По-видимому, так и произошло знакомство человека с металлом.

В первую очередь наши предки обратили внимание на самородные золото и медь. После они познакомились с метеоритным железом и самородным серебром. Следующим шагом на пути прогресса стало освоение добычи рудного (жильного) золота и выплавки меди из легковосстановимых руд. В дальнейшем были изобретены способы производства меди, свинца, серебра и ртути из сульфидных руд. После этого были освоены технологии получения бронзы и рудного железа. Наконец, еще одним металлом, открытым человечеством, стало олово. Таким образом, золото, серебро, медь, железо, ртуть, олово и свинец получили особое название: «семь металлов древности». В течение длительного времени, вплоть до позднего Средневековья, «семь металлов древности» составляли весь арсенал человека для развития техники.

Важнейшим металлом с древнейших времен является железо. В предыдущем параграфе мы кратко отметили важность металлургии железа, недаром наш век зовется железным. Здесь важно заметить, что первое выплавленное в тигле или сыродутном горне железо содержало мало примесей, было относительно мягким и нетвердым. Часто изделия из него уступали аналогичным изделиям из бронзы. Преимущество бронзы (сплава меди с оловом) перед чистым железом проявляется именно в том, что бронза – сплав. Общая особенность сплавов заключается в том, что они, как правило, оказываются более твердыми, чем чистые компоненты, составляющие сплав. Однако люди быстро поняли (опытным путем, без наличия каких-либо теорий), что, науглероживая (насыщая углеродом) железо, его можно упрочнить, превратив в сплав под названием сталь. Другой сплав железа и углерода – чугун. В Средние века чугун был открыт как побочный продукт выплавки железа в печах с механизированным дутьем от водяного колеса. Чугун, содержащий углерода больше, чем сталь, обладает абсолютно другими механическими свойствами. Так, он не поддается ковке – основному способу обработки стали в то время. Поэтому на первых порах чугун просто выбрасывали. Затем стало ясно, что чугун можно применять как отличный литейный материал, так как он обладает хорошими литейными свойствами.

На протяжении уже более чем 500 лет металлургия железа, стали и чугуна определяет технологический уровень развития государства.

Все государства – мировые экономические и технические лидеры современности – являются крупными производителями железных сплавов.

В XVIII и особенно в XIX в. человечество начало открывать и осваивать другие металлы, кроме «семи металлов древности». В 1869 г. Дмитрий Иванович Менделеев открыл периодический закон химических элементов, что в каком-то смысле подвело итог периоду открытия металлов, наступала эра их освоения.

Важнейшей вехой XX в. является освоение алюминия. Этот прочный и легкий металл оказался весьма полезен в веке авиации и космонавтики. С середины XX в. очень перспективным считается титан. Он сочетает в себе достоинства сплавов железа и сплавов алюминия: очень высокую прочность с небольшим удельным весом. Однако, несмотря на то что титан весьма распространен в земной коре, до сих пор не удалось освоить относительно дешевую технологию его производства.

XXI в. предъявляет свои, новые требования к материалам. Мы все чаще сталкиваемся с тем, что металлы уступают свое место в промышленности новым неметаллическим материалам. Это в первую очередь композиционные материалы, керамика, наноматериалы, которые зачастую не являются металлическими в полном смысле этого слова. Все большую роль начинают играть материалы органического происхождения – продукты нефтепереработки, пластмассы и т. п. Несмотря на то что вовлекаемых в промышленный оборот металлов, не имевших в прошлом промышленного значения, становится все больше, по-видимому, век металла уходит. Какими будут материалы ближайшего будущего – покажет время.



Дмитрий Иванович
Менделеев
(1834–1907)

Глава 2. ЗАРОЖДЕНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ (с древнейших времен до XV в.)

Зарождение и формирование технологий обработки материалов продолжалось в течение весьма длительного времени. Этот огромный временной промежуток включает в себя значительные исторические эпохи: первобытную, период древневосточных государств, античность, Средние века. Каждая из них является важнейшей вехой в общеисторической хронике человечества, однако с точки зрения технологий обработки материалов все это значительное время происходило накопление и осмысление знаний, поистине получаемых в виде крохотных крупиц или очень небольших шагов. Тысячелетия потребовались для того, чтобы сформировался следующий период в технологии обработки материалов. Однако большинство наработок, сделанных в период зарождения и формирования технологий обработки материалов, не забыты и продолжают использоваться уже на новом технологическом уровне.

2.1. Первобытные периоды жизни человека

Палеолит (древний каменный век). Эволюция человекообразных обезьян, продолжавшаяся много миллионов лет, привела к появлению человека. Более 3 млн лет назад в Африке уже бродили существа, которых называли австралопитеками – южными обезьянами. У них были массивные челюсти и небольшой мозг, они уже могли передвигаться в выпрямленном положении и держать в руках палку или камень.

Ученые считают, что первые каменные орудия появились около 2,5 млн лет назад. Это были камни с острыми краями и отщепы от них. Такими орудиями можно было срезать ветку, снять шкуру с убитого животного, расколоть кость или выкопать из земли корень. Тот, кто изготовил их, получил наименование «человек умелый» (*homo habilis*). Сейчас его считают первым представителем человеческого рода.

«Человек умелый» передвигался на ногах, а кисти его рук были приспособлены для того, чтобы не только держать палку или камень, но и изготавливать орудия. Говорить эти древнейшие люди, вероятно, еще не умели; подобно обезьянам, они подавали друг другу сигналы

криками, жестами, гримасами. Кроме растительной пищи, они ели мясо животных, на которых охотились.

Около 1 млн лет назад появился новый вид – «человек выпрямленный» (*homo erectus*), питекантроп, т. е. обезьяночеловек. Это существо все еще напоминало своих предков – животных. Оно было покрыто шерстью, имело низкий лоб и сильно выдающиеся вперед надбровные дуги. Но размер его мозга был уже довольно большим, приближаясь к размеру мозга современного человека.

«Человек выпрямленный» научился делать различные орудия из камня – крупные рубила правильной формы, скребки, резцы (рис. 2.1). Такими орудиями можно было рубить, резать, строгать, копать, убивать животных, снимать с них шкуры, разделывать туши.

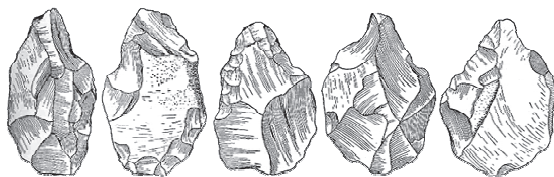


Рис. 2.1. Орудия труда питекантропа

Развитие трудовых навыков, способность мыслить, планировать свою деятельность позволили этим людям приспособиться к жизни в разных климатических условиях. Они жили в холодных областях Северного Китая и Европы, в тропиках острова Ява, степях Африки. Во время существования «человека выпрямленного» начался ледниковый период.

Охота на крупных животных, защита от опасностей, переселение на новые территории – все это требовало объединенных усилий многих людей. Их коллективы должны были быть достаточно многочисленными и сплоченными. Усложнение образа жизни привело к тому, что старшие стали обучать младших, и подростки дольше, чем прежде, оставались с родителями и сородичами. Эти люди уже умели говорить. И все же их физическое развитие и развитие культуры шло очень медленно: питекантропы, как и создававшиеся ими орудия, почти не изменяясь, просуществовали около 1 млн лет.

Ледники то наступали с севера, то отступали; климат стал холоднее, а в южных районах – более влажным. Природа ставила перед людьми новые задачи, которые они могли решить, только развивая свою еще

очень простую культуру, накапливая и анализируя опыт. Воздействие природного окружения и усложнение деятельности привели к появлению около 250 тыс. лет назад древней разновидности «человека разумного» – неандертальца (по названию германской долины Неандерталь, где впервые были обнаружены его останки). Он не слишком отличался от современного человека, хотя был грубо сложен, имел низкий лоб и скошенный подбородок. Но эти люди обладали более живым и развитым умом и лучше приспосабливались к тяжелым условиям ледниковой эпохи, чем их предшественники – питекантропы.

Неандертальцы усовершенствовали изобретенные питекантропами орудия. Их форма стала более правильной и разнообразной. Неандертальцы носили одежду и умели строить простые жилища, а около 60 тыс. лет назад научились добывать огонь, он согревал их, защищал от зверей и помогал охотиться. На огне начали готовить пищу, которую прежде ели сырой.

Кроме простейших инструментов из камня или дерева широко применялись инструменты из костей животных и рыб. В теплом климате одежда изготавливалась из растений, в холодном – из шкур животных.

Ускоряются темпы развития: техника обработки камня совершенствуется теперь гораздо быстрее, чем прежде. Вспомним, сколько времени существовали орудия питекантропов, а орудия, изготовленные неандертальцами, были в обиходе 70 тыс. лет, после чего их сменили более совершенные.

О довольно высоком уровне развития неандертальцев и их культуры можно судить по тому, что орудия в разных областях Земли, населенных ими, уже не были такими одинаковыми, как прежде. В это время начинает складываться одна из особенностей культуры человечества – ее разнообразие. В этот же период появляются некоторые признаки физических отличий обитателей разных областей, формируются расы.

Люди не только осознали необходимость заботиться о слабых и больных, они получили возможность это делать. Для того чтобы раненный человек выздоровел, о нем необходимо было заботиться, делиться с ним пищей. Понимая, что они принадлежат к цепочке сменяющихся поколений, люди стали хоронить своих умерших. В погребениях находят скелеты явно тяжелобольных людей, а в одном из них обнаружили останки мужчины без руки. Значит, люди уже могли добывать столько пищи, чтобы прокормить не только подрастающих детей, но и слабых, больных, стариков.

Неандертальцы были первыми людьми, о которых можно сказать, что они совершали какие-то обряды. В пещерах находят специально собранные и даже расставленные в определенном порядке черепа медведей.

Сейчас еще не совсем ясно, как происходила смена неандертальца человеком современного типа. Люди, вытеснившие неандертальцев 40–30 тыс. лет назад, уже не имели черт, придававших их предшественникам несколько звероподобный облик: руки стали менее мощными, лоб – более высоким, у них появился подбородочный выступ.

Появление человека современного типа совпадает с началом последнего периода древнего каменного века – около 35 тыс. лет назад. В эту эпоху, продолжавшуюся недолго по сравнению с предыдущими – всего 23–25 тыс. лет, люди заселили все континенты, кроме, разумеется, Антарктиды.

В ту пору достаточно высокого уровня развития достигла техника изготовления каменных орудий. Многие из них теперь делались из пластин правильной формы, которые отделяли, «отжимали» от ядрищ призматической формы. Пластины разных размеров подвергали дополнительной обработке, притупляя края или снимая с помощью костяного либо деревянного инструмента тонкие чешуйки с поверхности. Самым пригодным камнем для изготовления орудий был кремний, часто встречающийся в природе. Использовали и другие минералы, которые легко раскалывались, были достаточно твердыми и мелкозернистыми. Некоторые ножевидные пластины были такими острыми, что ими можно было бриться. Техника изготовления орудий и оружия стала виртуозной. Именно в это время сложились формы многих вещей, которые потом стали делать из металла: наконечников копий, кинжалов, ножей (рис. 2.2).

Стали широко применять костяные орудия – шилья, иглы. Из кости и рога делали приспособление, позволявшее увеличивать дальность полета копья, – копьиметалку. В эту эпоху в некоторых местах появился лук.

Из громадных костей и бивней строили каркас жилищ, который покрывали шкурами, ветвями, частично засыпали землей. Развалины таких больших жилищ, принадлежавших нескольким семьям, найдены при раскопках.

Образ жизни людей каменного века, уровень их развития отчасти напоминают некоторые стороны жизни народов, которые в недавнем прошлом, до прихода европейцев, обитали в Австралии, отдельных областях Южной Азии, Южной Америки и Африки. Прямо сравнивать их, конечно, нельзя: за прошедшие тысячи лет даже столь отрезанные

от цивилизации люди, как аборигены Австралии, накопили большой опыт наблюдений, развились их мыслительные способности, расширилось восприятие мира. И все же быт этих племен и народов позволяет в какой-то степени понять, как жили люди 30–20 тыс. лет назад.

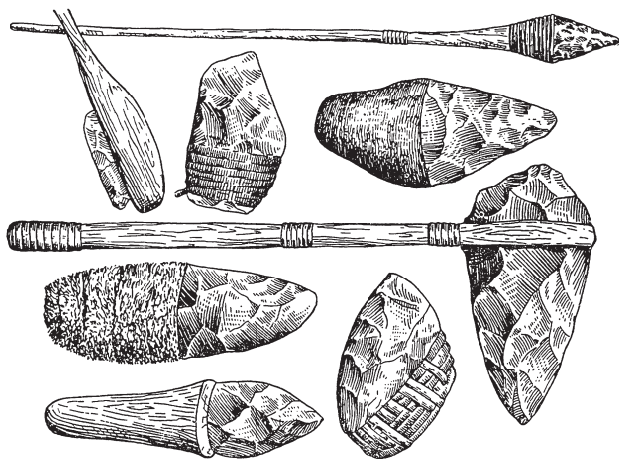


Рис. 2.2. Каменные орудия труда неандертальцев

Мезолит (средний каменный век). Сменилось много поколений людей, пока ледник, наконец, не отступил на север. С отступлением ледника (это произошло в конце X–IX вв. до н. э.) началась, как говорят геологи, современная эпоха. Движение ледника на север происходило постепенно, и южные области Европы и Азии раньше, чем другие, стали благоприятными для нового скачка в развитии человеческой культуры. Люди поняли, что совсем не обязательно искать большой кусок хорошего камня, чтобы сделать кинжал или наконечник копья. Гораздо рациональнее откалывать от небольших ядрищ мелкие пластинки или разделять большие ножевидные пластины на мелкие. Полученные маленькие кусочки можно вставить в костяную или деревянную основу, проделав в ней желобок. Так из небольших пластинок, укрепленных смолой в кости или деревянной палочке, можно получить большое орудие – наконечник копья, нож, пилу; эти пластинки легко закреплялись в древке стрелы. Этот способ изготовления орудий позволял экономить время и пользоваться небольшими кусочками таких минералов, как, например, полудрагоценный халцедон или агат (рис. 2.3).

Период распространения мелких каменных орудий (микролитов) получил название среднего каменного века, или мезолита (по-гречески «мезос» – средний, «литос» – камень). В разных районах Земли такие орудия появились не одновременно, а кое-где их не делали вовсе.

Возможность получения гладких поверхностей с помощью вращательного движения изделия или инструмента стала известна человеку еще в палеолите. Уже добывание огня трением показало возможность получения тела вращения и соответствующей формы отверстия.

Получение круглых отверстий в камнях было несколько усовершенствовано в эпоху мезолита. Практика обнаружила значение увеличения скорости вращения орудия для повышения производительности труда. Переход от вращения орудия одной рукой к вращению его между ладонями обеих рук дал повышение производительности в два-три раза. Открытие, что шнур, обведенный вокруг орудия, может быть его двигателем при попеременном перетягивании в противоположные стороны, значительно повысило производительность. Однако это вызывало занятость обеих рук одного человека. Держать и направлять орудие нужно было второму лицу. Применение в качестве двигателя не обычного шнурка, а тетивы лука дало возможность работать одному человеку и повысило производительность труда сравнительно с перекачиванием орудия между ладонями раз в двадцать.

Орудием для получения отверстий в каменных предметах была палка, прижимавшая абразив (песок) к обрабатываемому предмету. Значительная глубина и правильная форма отверстий во многих каменных молотах и топорах заставляют предполагать, что позже палку, с помощью которой получали отверстие, уже не держали в руках, а необходимое взаимное расположение обрабатываемого предмета и режущего устройства фиксировалось простейшей установкой, состоявшей из двух кольев и связывающей их перекладины. Эта установка обеспечивала дальнейшее повышение производительности труда и более высокое качество обработки. На рис. 2.4 представлено изображение подобной установки, реконструированной Веймарским музеем. Такая установка была известна первобытным народам.

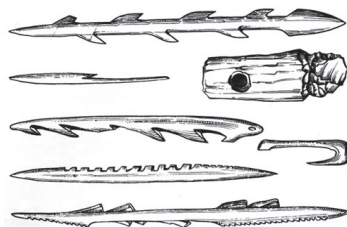


Рис. 2.3. Орудия труда периода мезолита

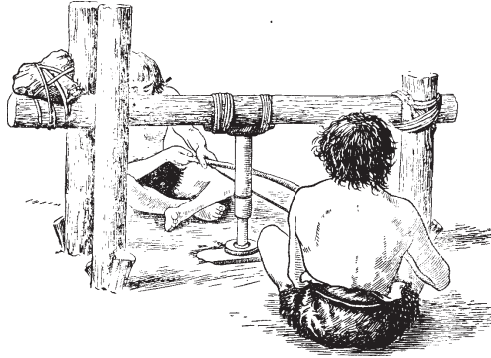


Рис. 2.4. Устройство для выполнения отверстий в каменных орудиях

Вместо палки, прижимавшей абразив (песок) к обрабатываемому изделию, в дальнейшем иногда применяли трубчатые предметы (кости крупных животных, бамбук), которые соприкасались с изделием только по кольцевой поверхности. Это повышало давление на единицу поверхности, уменьшало количество материала, подлежащего истиранию, и облегчало центрирование. Описанное устройство, иногда неправильно называемое сверлильным станком, в действительности являлось скорее абразивным. Оно было предшественником станков всех типов, первым из которых оформился токарный станок.

В эту эпоху широко распространяются лук и стрелы. Простое устройство из ветки дерева и жилы животного позволяло убивать птицу или зверя с далекого расстояния. Убийственная сила стрелы увеличивалась, если ее наконечник смачивали ядом. К сожалению, лук и стрелы были и оружием против человека. В могильниках этой эпохи находят скелеты людей с торчащими из них наконечниками стрел.

Люди добывали пищу не только на охоте. Исчезновение крупных зверей или сокращение их количества заставляло все чаще употреблять в пищу рыбу и моллюсков. Морские побережья стали привлекать людей. Здесь можно было на мелководье убить костяным гарпуном большую рыбу, поймать много крабов, собрать моллюсков. В некоторых районах обитатели морских побережий поедали моллюсков в таком количестве, что их раковины на протяжении многих лет образовывали огромные кучи, которые теперь изучают археологи.

Охота с луком и копьем, сбор плодов – все это позволяло людям не так часто, как прежде, переселяться с места на место. Окрестности сво-

их селений они знали очень хорошо. Использовали все съедобное, внимательно присматривались к тому, как ведут себя звери, каков их нрав, когда у них появляются детеныши. Люди заметили, что из упавших на землю зерен вырастают новые растения, причем из одного зернышка – целый колос. Все эти наблюдения, накапливаясь, сыграли важнейшую роль в дальнейшем прогрессе человечества.

Неолит (новый каменный век). Люди среднего каменного века все больше внимания уделяли сбору съедобных растений, причем не всех подряд, а тех, которые давали больше плодов и которые легче собирать. Среди них были прародители современных злаков – пшеницы, ячменя, риса, которые в некоторых районах Азии образовывали целые поля. В Америке внимание людей особенно привлекали кукуруза, бобовые, картофель, томаты.

Очень полезными оказались злаки. Их зерна содержали питательные вещества и хорошо насыщали. Такие зерна можно было дробить, при добавлении воды они размягчались и становились похожими на кашу. Их также растирали между двумя камнями и получали муку, которую смешивали с водой, а из полученной массы на раскаленном камне выпекали самую простую лепешку. Зерна можно было запастись впрок, что очень важно – ведь не всегда охота оказывалась удачной, а дикие плоды растений можно собирать только в определенное время года. И мясо, и такие плоды сохранить гораздо труднее, чем хорошо просушенное зерно. Накопив его запас, можно спасти себя от голода.

Зная, где расположены поля диких злаков и когда они созревают, общины охотников с женами и детьми приходили туда. Сначала зерна прямо из колосьев стряхивали в мешки или корзины, затем стали срезать и стебли, для этого пользовались прямым жатвенным ножом – предшественником серпа, его основа была костяной или деревянной, лезвием служили несколько закрепленных в ней острых каменных пластинок.

Постепенно люди поняли, что можно не ходить далеко к полям дикой пшеницы или ячменя. Их зерна прорастали и в земле около селения. Слегка разрыхлив ее, можно и самим их выращивать, защищая посевы от диких зверей и птиц. Эта работа не была особенно тяжелой, ее могли делать женщины, старики и даже дети. Для разрыхления почвы использовали орудия, которыми выкапывали съедобные корни, рыли ямы. Так люди постепенно становились земледельцами.

Одновременно люди стали приручать диких животных. Первой из них была собака – помощник на охоте и защитник от хищни-

ков и врагов. Дикие предки овец, коз, свиней, крупного скота обитали в Азии. В Америке единственным животным, которое удалось приручить, была лама.

Наверное, первые попытки приручения довольно безобидных травоядных животных делались и раньше, когда в руки охотников попадали козлята и ягнята. Когда люди значительную часть года могли жить на одном месте, для детенышей животных можно было строить загоны. Вырастая, самки давали потомство. Постепенно козы и овцы становились все более ручными и не только не боялись людей, но даже шли за ними, потому что получали от них корм.

Теперь мясо и шкуры не только добывали на охоте, но и получали благодаря скотоводству. Появились пастухи, отгонявшие стада на пастбища. Люди научились прясть из шерсти животных нити, ткать, шить одежду. Позже стали получать молоко и делать из него сыр, творог.

Переход к земледелию и скотоводству сыграл огромную роль в жизни человечества. Это событие было настолько значительным, что его называют «неолитической революцией». Новые формы жизни начали складываться еще в среднем каменном веке, но на более обширные территории они распространились позднее, в новом каменном веке – неолите (по-гречески «неолит» – «новый камень»). «Неолитическая революция» заняла не десятки и даже не сотни лет, а тысячелетия. Однако для тех времен такие темпы не были медленными.

Первым обширным регионом, где люди начали выращивать растения, разводить домашних животных и переходить к оседлому образу жизни, стал Ближний Восток, где это произошло в VIII–VII тыс. до н. э. В Юго-Восточной Азии первые признаки знакомства с земледелием относятся к X тыс. до н. э., но шире оно распространяется к VI тыс. до н. э. Приблизительно в это время или немного позже оно становится известным в Китае и Японии.

Новые способы ведения хозяйства быстро распространялись. В Европу земледелие и скотоводство стали проникать в VI–V тыс. до н. э. Постепенно они распространились на север, что было связано с немалыми трудностями, так как теплолюбивые растения трудно приживались в новых условиях.

В Америке первые признаки земледелия появляются в начале VI тыс. до н. э. В это время в Центральной Америке стали выращивать кукурузу, а может быть, и бобовые культуры.

Не везде с наступлением нового каменного века и даже позже люди смогли стать земледельцами. В некоторых регионах этому препят-

ствовал климат, например в Австралии или в северных районах Азии, Европы и Америки. В то же время достаточное количество дичи, рыбы, дикорастущих растений позволяло людям жить, совершенствуя свою материальную культуру и все больше расширяя свои познания о мире. В благоприятных условиях даже с каменными и костяными орудиями можно было вести полуоседлый образ жизни. Сейчас известно около 150 типов каменных и 20 типов костяных орудий позднего древнекаменного века.

В новом каменном веке совершенствуются охотничье оружие, луки, ловушки. Люди научились плести из ветвей корзины и сооружать на реках запруды, препятствующие ходу рыбы, делать лодки, выдалбливая их из стволов деревьев, и, наверное, строить плоты. В северных областях появляется такое удобное приспособление, как лыжи.

Быт неоседлых людей скромнен. Кочующие охотники не могли иметь тяжелую утварь, их жилища должны были быть легкими, вроде юрт и шалашей. До появления вьючных и упряжных животных все приходилось нести на себе. Оседлые же земледельцы и скотоводы, если земля вокруг была плодородной, долго жили на одном месте – целые столетия. Конечно, они продолжали охотиться, ловили рыбу, собирали ягоды, как это делали крестьяне всех стран много веков спустя и как это делают деревенские жители теперь.

Именно переход к оседлому состоянию вызвал к жизни такой вид искусства, как архитектура.

Сначала жилища были круглыми, как шалаша охотников. Но из кирпичей и прямых стволов деревьев удобнее было строить дома прямоугольного плана. Если семья увеличивалась, делали пристройку. В домах появились печи для обогрева и приготовления пищи, с помощью специальных дымоходов научились отводить дым наружу. Появилась и мебель – столы, скамьи, простые стулья.

В новом каменном веке появился первый искусственный материал, изобретенный человеком, – огнеупорная глина (рис. 2.5). Прежде люди использовали для своих нужд то, что давала природа, – камень, дерево, кость. Посуду тоже изготавливали из дерева, раковин, скорлупы больших орехов. Из гибких ветвей плели корзины, а из шкур зверей делали мешки. В такой посуде трудно приготовить горячую еду (один из способов – бросить раскаленный камень в наполненный пищей кожаный мешок). Теперь посуду стали лепить из глины, смешивая ее с водой, песком, толченым камнем или рубленой соломой. Эти добавки были необходимы для того, чтобы при обжиге посуда не потрескалась. Выле-

пленные из полученной массы сосуды подсушивали, собирали в кучу, перекладывая и засыпая их горючим материалом (например, лепешками овечьего навоза), и поджигали. Несильный, но длительный жар позволял довольно хорошо обжигать сосуды.

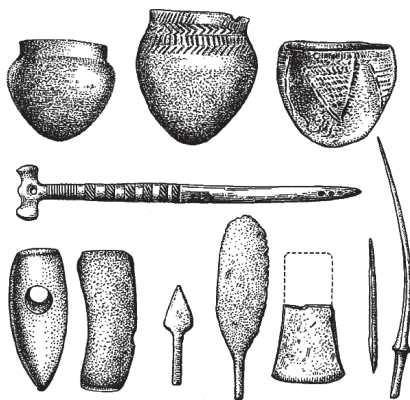


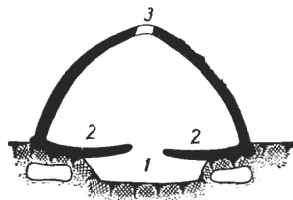
Рис. 2.5. Орудия труда неолитического периода

Изобретение глиняной огнеупорной посуды позволило готовить такие известные нам блюда, как каши, супы, похлебки, жарить еду с применением масла. Мясо и овощи стали не только печь и жарить на открытом огне, но и варить.

Из глины лепили еще одно важное приспособление – печи и очаги. В зависимости от назначения они имели разную форму. Появились печи для выпечки хлеба и обжига глиняных горшков (рис. 2.6).

С переходом к оседлому существованию резко изменилось количество совместно проживающих людей. Общины охотников были небольшими, около 20 человек или немного больше, и могли разрастаться только при достаточных запасах пищи. В общинах же земледельцев и скотоводов посевы хлебных злаков, наличие домашних животных служили гарантией существования уже для нескольких сотен людей. Конечно, случались и засухи, и падеж скота, но все же продуктами питания люди были обеспечены гораздо лучше. Теперь появилась возможность заботиться о стариках, кормить их, а люди старшего поколения могли обучать детей ремеслам гончара, пастуха, ткача. Роль руководителей играли старейшие, наиболее опытные люди.

Рис. 2.6. Гончарная печь: 1 – место для очага; 2 – печной под; 3 – отверстие для выхода дыма



Люди по-прежнему не мыслили своего постоянного существования вне семьи и сородичей, рассчитывая на их поддержку. Вся жизнь проходила на глазах большого коллектива, без которого человек был никем, одиночкой, не способным выжить.

В это время население, особенно в районах, где занимались земледелием и скотоводством, стало быстро расти. Когда людей в одной деревне становилось слишком много, часть уходила, но, наверное, не очень далеко. Так родственные коллективы заселяли большие территории. Сородичи не враждовали друг с другом и с соседями тоже стремились наладить хорошие отношения – земли хватало, а силы воевать и настоящего мощного оружия еще не было.

Благодаря таким отношениям стремились не только обеспечить невмешательство в свои дела, но и получить выгоду. Дело в том, что на разных территориях запасы необходимого сырья были неодинаковыми. Например, в горах Восточной Турции был ценный камень обсидиан – вулканическое стекло, из которого делали первоклассные вкладыши для серпов, стрелы, ножи, а в соседних областях его не было. Те, кто добывал этот камень, обменивали его на необходимые вещи или продукты питания, может быть, на ткани или сушеные фрукты, шкуры животных. Так, переходя из рук в руки, ценный минерал распространялся на сотни и тысячи километров от мест, где его добывали.

Обмен в то время стал особой формой общения (денег тогда еще не было). Те, кто участвовал в нем, получали не просто материальную выгоду: обмениваясь нужными вещами или сырьем, люди заключали дружеские союзы между целыми селениями, договаривались о совместных действиях против общих врагов, заключали браки.

На огромные расстояния от источников распространялся, например, прибалтийский янтарь – он доходил до Средиземноморья. В новом каменном веке появились шахты, в которых добывали камень не только для себя, но и для обмена с соседями. Выстраиваются длинные цепочки связей. Ценные предметы, сырье переходили из рук в руки, и, общаясь,

люди узнавали о том, что где-то далеко уже не охотятся на зверей, а разводят их, выращивают растения, из зерен пекут лепешки, живут в постоянных деревнях. Освоение нового требовало времени. Одно открытие порождало другие. Так, совсем не обязательно было видеть, как кто-то выплавляет металл. Простейшие приемы изобретались самостоятельно в разных районах.

2.2. Знакомство человека с металлом. Бронзовый и начало железного века

Самородные металлы. Первым металлом, который привлек внимание первобытных людей, была медь, которую они находили в виде самородков. Она уступала в твердости камню, но при нагревании ее можно было размягчать и затем выковывать орудия для работы с мягкими органическими материалами – тканями, кожей. Так появились металлические иглы, шилья, а потом и рыболовные крючки. Из меди делали украшения – бусы, подвески, кольца, браслеты. Светлый и блестящий металл нравился древним людям, как нравится нам новая медная монета. Редкость таких вещей делала их еще более ценными, им, наверное, приписывали особые свойства.

Но почему именно медь стала первым металлом, оказавшимся в руках человека? Почему ей суждено было сыграть столь важную роль в развитии человеческого общества?

Вместе с золотом, серебром, железом, оловом, свинцом и ртутью медь входит в «великолепную семерку» металлов, известных людям с незапамятных времен. Из этих семи древнейших металлов лишь три – золото, серебро и медь – встречаются на Земле в самородном состоянии в достаточно крупных самородках. Но золото и серебро попадались нашим предкам довольно редко, а медь значительно чаще, причем иногда в виде весьма солидных самородков. Так, в середине XIX в. в районе Великих озер (Северная Америка) был найден сросток крупных медных глыб массой примерно 400 тонн. На поверхности металла сохранились следы каменных топоров, с помощью которых еще во времена неолита человек отбивал от глыбы куски меди, чтобы использовать ее для своих нужд.

А нужда в этом металле была, и немалая. Преимущества меди перед камнем в качестве материала для орудий труда, оружия, предметов быта оказались столь очевидны, что древний земледelec, скотовод или охотник не мог их не заметить. Еще бы: металл сравнительно легко менял

форму, его можно было сплющить, заострить края, проделать в нем отверстие. Медь начала теснить позиции камня и вскоре прочно вошла в жизнь первобытных людей: каменный век сдал полномочия эпохе меди.

Постепенно накапливая опыт обработки меди, человек достиг в этом деле заметных успехов, о чем говорят дошедшие до нас медные изделия древних мастеров. В гробнице одного из египетских фараонов, жившего примерно в середине III тыс. до н. э., был найден большой котел, изготовленный из листа расплющенной самородной меди.

Бронзовый век. Первые достоверные данные о применении меди датируются примерно 6500–5700 гг. до н. э. Первыми найденными предметами были маленькие медные вещицы, обнаруженные на одном из самых ранних горизонтов раскопок вблизи поселения Чатал-Хюкжа в Турции. Это были мелкие шильца, крохотные бусинки и трубочки, служившие украшениями для женской одежды. Эти невзрачные на вид окислившиеся и позеленевшие крупички меди были древнейшими металлическими изделиями, которые удалось найти на нашей планете.

Поначалу предположили, что медь, послужившая здешним жителям материалом для их поделок, имела самородное происхождение. Но впоследствии рабочие, проводившие раскопки, натолкнулись в тех же нижних слоях на кусок медеплавильного шлака. Следовательно, древние мастера умели не только обрабатывать самородную медь, но и выплавлять этот металл из руд.

Медь внесла заметный вклад в развитие материальной культуры, но еще более важную роль суждено было сыграть сплаву меди с оловом или свинцом – бронзе. Этот замечательный сплав обладает рядом преимуществ перед чистой медью: большей твердостью и прочностью, упругостью, остротой лезвия, меньше подвержен коррозии, лучше заполняет литейную форму. Вслед за недолгой эпохой меди на нашей планете воцарился бронзовый век.

Плавка меди. Начало систематического использования меди открывает новую эпоху – медно-каменный век, или энеолит. Камень продолжают еще применять очень широко, поскольку медь, как мы уже отмечали, была слишком мягким металлом. Из нее невыгодно было делать, например, лезвия серпов – они быстро изнашивались. Сплавов же в это время еще не делали.

Большую роль в возникновении металлургии сыграло изобретение глиняной посуды. Дело в том, что, обжигая ее, научились постепенно получать все более высокую температуру. Мы знаем, что сначала

посуду обжигали в куче, переложенной горючим материалом. Но уже в VI тыс. до н. э. появились специальные печи с двумя ярусами: в нижнем находилась топка, а в верхнем на горизонтальной полке с отверстиями стояла посуда. Это был настоящий горн (см. рис. 2.6).

Примечательно, что первые опыты по выплавке металлов из руды и по обработке самородных металлов начались почти одновременно с изготовлением обожженной глиняной посуды.

Как же осуществляли плавку меди? Для этого добытую руду дробили, а затем перебирали вручную. Наиболее древним способом плавки медной руды является тигельный: руду смешивали с древесным углем и помещали в тигли, изготовленные из глины, перемешанной с костной золой. Размеры тиглей были небольшими, так, высота тигля, обнаруженного в Египте археологом Брайтоном, составляет всего лишь 12 см. В тиглях предусматривались отверстия для выхода газов: в крышке и для подачи дутья: сбоку, примерно на середине высоты (рис. 2.7). После этого тигли помещались в печь и начиналась плавка. Температура, необходимая для получения меди, содержащей около 1–2 % (мас.) примесей (мышьяка, никеля, сурьмы и др.), составляет около 900–950 °С. Она достигалась уже в примитивных гончарных очагах времен неолита (см. рис. 2.6). Количество меди, производимое в тиглях, было очень небольшим и составляло, как правило, несколько сот граммов. Поэтому довольно быстро перешли к производству меди в ямах. Для этого медную руду, перемешанную с древесным углем, помещали в неглубокие ямы (глубиной до 30 см), дно которых было выложено камнями. Над слоем шихты насыпали еще некоторое количество древесного угля, а сверху укладывали ветви деревьев и небольшое количество земли таким образом, чтобы не препятствовать притоку воздуха внутрь кучи. Место плавки старались располагать на склонах холмов, чтобы исполь-

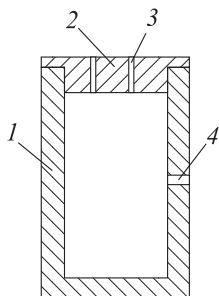


Рис. 2.7. Схема тигля для выплавки меди: 1 – тигль; 2 – крышка; 3 – отверстие для выхода воздуха; 4 – отверстие для дутья

зовать естественное движение воздуха. То, что оно способствовало раздуванию огня, было замечено в глубокой древности. Таким был первый промышленный металлургический агрегат (рис. 2.8).

По завершении плавки несгоревшее топливо убирали, а полученный металл дробили на удобные для использования куски. Это делалось немедленно после затвердевания металла, так как на этой стадии медь особенно хрупка и легко разбивается на куски молотком. Для придания сырцово́й меди товарного вида ее подвергали холодной ковке. Примерно так люди научились плавить медь и отливать из нее простые изделия. И хотя древнейшая известная археологам медная отливка – топор – насчитывает почти шесть тысячелетий, надо полагать, что по-настоящему техникой литья человек овладел лишь после того, как «прошел курс» горячей обработки металла.

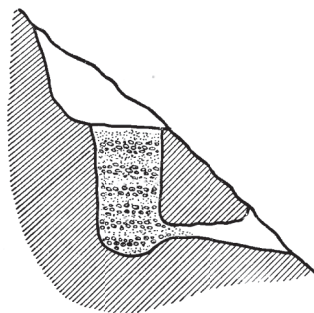


Рис. 2.8. Схема рудоплавильной печи на склоне холма

К этому времени уже во многих местах земного шара добывали медную руду и выплавляли из нее медь. Особой известностью пользовались рудники острова Кипр, которому, как полагают, медь и обязана своим латинским названием «купрум». Русское же слово «медь», по мнению некоторых ученых, происходит от слова «смида» – так племена, населявшие когда-то европейскую часть территории нашей страны, называли всякий металл.

Освоение металлов, среди которых не только медь, бронза, но и золото, серебро, было одним из признаков наступления новой эпохи. В конце IV тыс. до н. э. или даже немного раньше в Месопотамии, на юго-западе Ирана, а затем в Египте возникают первые государства. Здесь первобытный образ жизни кончается. Но он продолжает существовать на большей части заселенной людьми Земли.

Бронза. Бронзой называются сплавы меди с другими металлами. Известно большое количество бронз: свинцовая, сурьмяная, мышьяковая, висмутная, бериллиевая и проч. Наибольшую известность имеет оловянная бронза, и долгое время считалось, что именно она была первым медным сплавом, который научился производить человек. Однако в настоящее время достоверно установлено, что первые бронзы были мышьяковыми.

Минералы мышьяка (как правило, это легкоразлагаемые сульфиды) часто присутствуют в медных месторождениях. Отметим, что эти минералы обладают ярким цветом и были известны человеку еще в каменном веке. Таким образом, сплав с некоторым содержанием мышьяка получался естественным путем уже при производстве меди.

Присутствие мышьяка в бронзе в количестве до 6 % (мас.) существенно (более чем в два раза) повышает ее прочностные свойства. При большом содержании мышьяка металл становится хрупким, но резко улучшаются его литейные характеристики.

Олово пришло на смену мышьяку только во II тыс. до н. э. Отметим, что качество изделий из оловянной и мышьяковой бронз примерно одинаково, при этом технология обработки оловянной бронзы заметно сложнее, так как зачастую требует горячейковки (хотя и при низких температурах). Минералы олова на поверхности земли встречаются относительно редко. Почему же оловянная бронза повсеместно вытеснила мышьяковую?

Главная причина заключалась в следующем. Как мы уже знаем, в древности люди относились к металлическим предметам чрезвычайно бережно ввиду их высокой стоимости. Поврежденные предметы отправлялись в ремонт или на переплавку. Но отличительной особенностью мышьяка является возгонка уже при температурах около 600 °С. Именно в таких условиях и проводился смягчающий отжиг бронзовых изделий при их перековке. Таким образом, теряя часть мышьяка, металл изменял свои механические свойства в худшую сторону. Объяснить это явление древние металлурги не могли. Однако достоверно известно, что вплоть до I тыс. до н. э. изделия из медного и бронзового лома стоили дешевле, чем изделия из «первородного» металла.

Было и еще одно обстоятельство, способствовавшее вытеснению мышьяка из металлургического производства. Пары мышьяка ядовиты: их постоянное воздействие на организм приводит к ломкости костей, заболеваниям суставов и дыхательных путей. Побочным явлением присутствия мышьяка в организме является быстрый рост волос и ногтей. Неудивительно, что древние металлурги не производили впечатление крепких и здоровых людей. Хромота, сутулость, деформация суставов были профессиональными заболеваниями мастеров, работавших с мышьяковой бронзой.

Данное обстоятельство находит отражение в мифах и преданиях многих народов: в древнейших эпосах металлурги часто изображаются хромыми, горбатыми, иногда – карликами, со скверным, раздражитель-

ным характером, косматыми волосами и отталкивающей внешностью. Даже у древних греков бог-металлург Гефест был хромым.

По-видимому, впервые оловянная бронза была произведена из полиметаллической руды, добытой из глубинных участков медных месторождений, в состав которой наряду с медью входило и олово.

Преимущества оловянной бронзы перед медью, мышьяковой бронзой и латунью заключались в высокой твердости, коррозионной стойкости и прекрасной полируемости. От способности олова повышать твердость бронзы и происходит его современное международное название – *stannum* (станум). Отметим, что корень «ст», звучащий в слове «стан» и во многих производных от него словах современных языков, является одним из древнейших общеиндоевропейских корней и обозначает признак прочности или устойчивости. Целый ряд предметов быта и вооружения стало возможно производить только после освоения технологии производства и обработки оловянной бронзы.

Человек познакомился с бронзой, по-видимому, в IV тыс. до н. э.: именно так датируют ученые самые ранние бронзовые орудия, найденные в Иране, Турции, Месопотамии. Однако свое название бронза получила значительно позже.

Один из древнейших морских портов Италии Бриндизи в античные времена (тогда он назывался Брундизиум) был конечным пунктом Аппиевой дороги, по которой в порт поступала добываемая в Древнем Риме медь различных месторождений. Отсюда начинался путь этого металла во многие государства. Но медь редко была чистой, как правило, металл представлял собой сплав меди с оловом. Он мог получаться естественным путем в процессе плавки, поскольку в тех месторождениях, откуда была «родом» медь, ей обычно сопутствовало олово. Кроме того, в порт постоянно заходили греческие суда, перевозившие олово с Британских островов, вполне вероятно, здешние металлурги подметили, что сплав двух металлов, пути которых пересекались в Брундизии, обладает хорошими свойствами, и освоили его массовое производство. Вскоре этот сплав – «медь из Брундизия» (по-латыни «эс Брундизи») – повсюду стали именовать бронзой.

Древняя технология литья. В древние века профессии металлурга, кузнеца и литейщика были неотделимы одна от другой. К этим профессиям примыкала еще одна: профессия «рудознатцев», т. е. разведчиков рудных месторождений.

Когда же появились профессии металлургов, литейщиков и кузнецов?

Первое разделение труда в человеческом обществе привело к появлению продолжавших кочевой образ жизни скотоводов и осевших на месте земледельцев. Лишь через много веков наступило второе разделение труда, вызвавшее появление ремесел. Первыми ремеслами и были кузнечно-литейное, гончарное и портняжное.

Изготовлением изделий из металлов стали заниматься целые роды и племена. Они жили обособленно от других племен, их селения и называли селениями «огненных людей».

В настоящее время твердо установлено, что уже в III тыс. до н. э. человеком был накоплен опыт литья украшений, домашней утвари, орудий труда и оружия.

Первоначально литейные формы изготавливали либо из глины, либо из камня. Легко поддающийся обработке ножом белый камень – известняк, как и сланцы, использовали для изготовления литейных форм многие народы. В ту пору применяли уже составные формочки из двух частей (рис. 2.9). Эти полуформы имели отверстия для центрирующих палочек, в них прodelывали литниковые каналы и даже ставили выпоры.

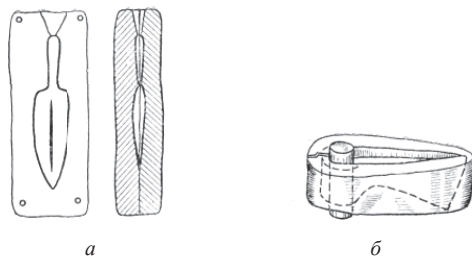


Рис. 2.9. Древние литейные формы, изготовленные из камня: *а* – форма для отливки кинжала; *б* – форма для отливки топора

Несколько позже для литья стали использовать гипсовые формы. Затем появилось литье по восковым выплавляемым моделям. Из воска выплавляли модель отливки, которую хотели получить. Затем восковую модель обмазывали снаружи глиной. После этого глиняную форму обжигали на огне, а воск от нагрева расплавлялся и вытекал из глиняной оболочки. Так внутри глиняной формы образовывалась полость, соответствующая по очертаниям модели. В эту полость и заливали жидкий металл. После его затвердевания глину отбивали и полученную отливку очищали (рис. 2.10), иногда красили.

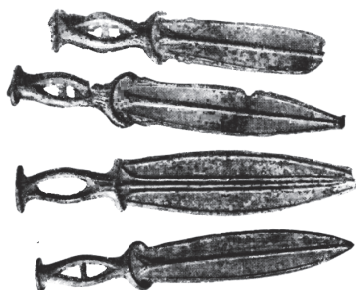


Рис. 2.10. Отливки бронзовых кинжалов

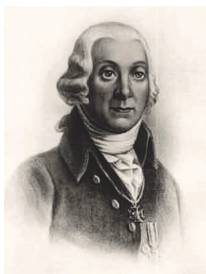
Метеоритное железо. В отличие от серебра, золота, меди и других металлов железо редко встречается в природе в чистом виде, поэтому оно было освоено человеком сравнительно поздно. Первые образцы железа, которые держали в руках наши предки, были неземного, метеоритного происхождения. При раскопках городов Эль-Обейда (Телль-эль-Убейд) и Ура, расположенных на территории современного Ирака, были найдены два предмета из метеоритного железа, которые относят к IV–III вв. до н. э. Среди археологических находок у ацтеков Мексики, индейцев Северной Америки, эскимосов и других племен, не знавших способов извлечения железа из руд, часто встречаются изделия из железа метеоритного происхождения. Причем это не только украшения, но и предметы быта. В XVII в. до н. э. египтяне применяли магнитные иглы, указывающие на юг, и зеркала из полированного железа.

Древние египтяне называли железо «ваасперс» – «родившееся на небе». То, что железо, с которым люди познакомились впервые, «упало с неба», подтверждает суеверный запрет у некоторых народов использовать его и даже прикасаться к нему. Римским и сабинским жрецам было запрещено дотрагиваться до железа, поэтому они брились только бронзовыми бритвами и стриглись бронзовыми ножницами.

Если первые находки метеоритного железа и можно считать началом его применения, а фактов, подтверждающих это предположение, немало, то это не просто случайность. Согласно преданию, меч Тимура (Тамерлана) и Атиллы – предводителя гуннов, жившего почти за тысячелетие до Тимура, имеют «небесное» происхождение. Вполне вероятно, что речь идет об оружии из метеоритного железа. Достоверно известно, что для русского царя Александра I был изготовлен меч из метеоритного железа.

Людам было известно (по-видимому, еще со времени великого оледенения), что время от времени на землю падают каменные и железные метеориты, однако даже в ученых кругах долго преобладали сомнения и неверие. И по стечению обстоятельств последнюю точку в вопросе существования метеоритного железа удалось поставить при исследовании метеорита, найденного недалеко от города Красноярск.

Палласово железо. Поздним летом 1771 г. в 200 километрах от Красноярск, в деревне Медведово, которая нынче затоплена водами Красноярской ГЭС, появилась группа всадников под предводительством Петра Симона Палласа. Выдающийся естествоиспытатель, географ и путешественник по заданию Екатерины II находился в экспедиции по Центральной, Юго-Восточной России и по Сибири.



Петр Симон Паллас
(1741–1811)

Паллас уже в течение десяти лет служил в России. В Красноярске он слышал, что кузнец Яков Медведев располагает сведениями об «упавшей с неба» железной глыбе, и поэтому оказался здесь.

Медведев рассказал, что однажды во время охоты на реке Убей – притоке Енисея – набрал «на самом верху одной высокой горы, совсем на поверхности, на ком вареного железа».

Паллас поинтересовался настоящим местоположением этого «камня». «Обломок теперь здесь, за кузницей», – ответил кузнец. Он рассказал, как почти целый месяц по бездорожью тащили этот обломок на катках. При виде глыбы лицо приезжего исследователя прояснилось. По оценке Палласа, обломок железа весил не менее 40 пудов. Крюк, который они сделали по дороге в Красноярск, вполне себя оправдал.

Метеорит Палласа, или Палласово железо (так его именуют сегодня), начал свое путешествие через Красноярск в Петербург, куда он попал уже в 1772 г.

Созданная всего столетия назад Петербургская академия наук к тому времени превратилась в научный центр европейского уровня, а ее членами были многие известные ученые.

Превосходная репутация Академии послужила причиной тому, что и физик Эрнст Флоренс Фридрих Хладни (1756–1827) отправился в Петербург из Германии. Научный интерес Хладни принадлежал миру звуков: он работал в области акустики. Хладни много экспериментировал. Он вызывал звуковые колебания в стержнях, пластинах, колоколах.

Впервые он сделал звук зримым, покрыв пластину тонким слоем измельченного песка. И по сей день фигуры, образующиеся на обсыпанной песком упругой колеблющейся пластине, называют хладни-фигуры.

Как многие ученые того времени, Хладни занимался и другими актуальными вопросами науки. Поэтому неудивительно, что Палласово железо, привезенное в кунсткамеру Петербургской академии наук, привлекло его внимание и послужило толчком к изучению метеоритов.

В год прибытия Палласова железа в Петербург в Париже состоялось собрание членов Французской академии. Это был круг сиятельных лиц, к которому принадлежал, в частности, знаменитый химик Антуан Лоран Лавуазье. Парадоксально, но факт: великие ученые решали вопрос... голосованием (сегодня такое даже невозможно представить). И порешили большинством голосов – метеоритов в природе не существует.

Тем временем Хладни в Петербурге приступил к тщательному изучению Палласова железа и вскоре пришел к твердому убеждению о его «небесном» происхождении.

В 1794 г. в Риге вышла книга Хладни «Об огненных метеоритах и выпадающих с ними массах». Лишь в Петербурге эту работу встретили как должно, и ее автор был избран членом-корреспондентом Петербургской академии наук. Почти десятилетие спустя природа подтвердила выводы Хладни о происхождении и природе метеоритов. 26 апреля 1803 г. во Франции вблизи небольшого городка выпал град метеоритов. Французская академия поручила расследовать это явление Жану Батисту Био. Факты были неопровержимы, и он вынужден был сделать те же выводы, что и Хладни. Длившийся десятилетиями спор был окончен.

С тех пор внезапное происхождение метеоритов не вызывало сомнений. В 20-е гг. XIX в. русский ученый Петр Николаевич Чирвинский на основании результатов исследования минералогического состава и структуры метеоритов доказал, что они представляют собой обломки крупного небесного тела, которое разрушилось при космической катастрофе. Это небесное тело, по-видимому, обладало геологическим строением, схожим со строением Земли, и располагалось между Марсом и Юпитером, там, где сейчас находится пояс астероидов (который и является основным источником метеоритов, падающих на Землю).

Согласно теории Н. Г. Чирвинского, каменные метеориты сходны с такими глубинными зем-



Петр Николаевич
Чирвинский
(1880–1955)

ными породами, как, например, базальты. Железокаменные метеориты, к которым относятся и палласиты, аналогичны еще более глубоко залегающим слоям Земли, а именно тем, которые окружают ее железоникелевое ядро. Железные метеориты, по-видимому, представляют собой обломки железоникелевого ядра.

На поверхность земного шара ежегодно выпадают тысячи тонн метеоритного вещества, содержащего до 90 % железа. Самый крупный метеорит найден в 1920 г. в юго-западной части Африки – это метеорит Гоба, весящий около 60 тонн.

Как правило, падающие на Землю железные метеориты невелики по размерам: их масса исчисляется килограммами, редко – тоннами. Но истории известны случаи, когда масса космических странников, встретивших на своем пути Землю, оказывалась неизмеримо больше. В 1891 г. в Аризонской пустыне была обнаружена громадная воронка диаметром более 1 200 и глубиной 175 м. Ее образовал железный метеорит, упавший в доисторические времена. По мнению ученых, этот метеорит весил сотни тысяч тонн. Такие колоссы падают на Землю примерно раз в несколько десятков тысячелетий.

Сыродутный горн. Когда же человек научился получать железо из руды? Ответить на этот вопрос трудно: ведь железный век наступил отнюдь не сразу и не благодаря отдельному открытию одной выдающейся личности в одном месте, как это полагали древние и как до относительно недавнего времени считали многие историки металлургии.

Несмотря на то что процесс изготовления железа был, безусловно, известен во II тысячелетии до н. э., железный век начался гораздо позднее. Известно, что первое железо было часто мягче бронзы. Потребовалось еще много сотен лет, чтобы люди нашли способ сделать железо более твердым и заменить им каменные, деревянные и бронзовые орудия.

На Переднем Востоке, в Закавказье и в Восточном Средиземноморье переход к массовому железнному производству произошел только в VI–V вв. до н. э. С этого времени и начинается «век железа», который продолжается до сих пор. Правда, к массовому производству железа в разных странах приступали в разные времена. В Египте полная смена каменных и бронзовых орудий железными произошла в 671 г. до н. э. после завоевания его Ассирией. Примерно в то же время начался железный век в Индии, а через несколько лет – и в Китае. На территории бывшего Советского Союза широкое производство железа началось в VI в. до н. э. и в V–IV вв. до н. э. было распространено повсеместно.

Трудно найти другой какой-либо металл, с которым так тесно был бы связан технический прогресс. Уже несколько веков производство железа, чугуна и стали является показателем технического и экономического развития государства, его общей культуры.

Предпосылкой широкого распространения железной металлургии было открытие сыродутного процесса, осуществляющего восстановление железа из руды при температуре порядка 900 °С. Для перехода от меди и бронзы к железу это имело большое значение. Выплавка меди из руды представляла более сложный процесс, чем выплавка железа: она требовала более высоких температур, сложных по конструкции печей и необходимости выпуска жидкого шлака из печи. Кроме того, медные рудники были очень сильно истощены и не могли обеспечивать металлом потребности общества. Железные руды к этому времени были хорошо известны, они находились на поверхности земли. Это были бурые железняки, озерные, болотные и другие легко восстанавливающиеся руды.

Сыродутный горн стал первым металлургическим агрегатом, специально предназначенным для производства из руд железа (рис. 2.11). По данным последних археологических исследований, первые сыродутные горны появились в начале II тыс. до н. э., однако широкое, практически повсеместное распространение они получили в «латенском» периоде железного века, т. е. в V–I вв. до н. э.

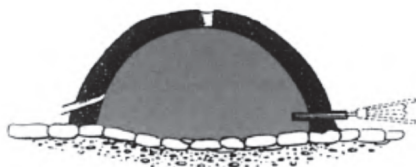


Рис. 2.11. Простейший сыродутный горн

Название горна «сыродутный» (сырое дутье) подчеркивает, что подача в него воздуха, необходимого для горения углерода древесного угля, осуществлялась без использования специального оборудования. Существовало несколько основных способов подачи воздуха в горн: с помощью создания естественной тяги в рабочем пространстве агрегата за счет расположения его со стороны основного направления ветра, как правило, у возвышенных форм рельефа местности; с помощью простейших дутьевых трубок, в которые вдыхали воздух ртом; с помощью использования простейших ручных дутьевых средств, которыми служили меха.

Температура нагрева материалов в сыродутных горнах не превышала 1 100–1 300 °С, что является недостаточным для плавления получавшегося в результате процесса низкоуглеродистого железа. Поэтому продуктом «плавки» была крица, представлявшая собой пористый (похожий на губку) материал – спек неравномерного по химическому составу железа со шлаком. Шлак представлял собой железистый расплав, главной составляющей которого являлся минерал фаялит. Таким образом, при сыродутном процессе имели место высокие потери железа (прежде всего со шлаком), которые могли достигать 80 % от железа, содержащегося в руде, помещенной в горн.



Рис. 2.12. Сыродутный горн XIX в. из Танзании

Использование сыродутных горнов в XIX в. в кустарном производстве железа у азиатских и африканских народов позволило многим исследователям того времени воочию наблюдать процесс переработки железной руды и подробно описать его. Известны описания сыродутного процесса в различных районах Индии, Мьянмы, Мадагаскара, внутренней Африки (рис. 2.12).

Сыродутный горн строился из глины и снаружи скреплялся бамбуковыми обручами. Иногда он имел значительную высоту. Внутреннее пространство печи представляло собой полость, имеющую форму усеченной пирамиды или цилиндра. Горн снабжался двумя или тремя глиняными фурмами с диаметром, постепенно сужающимся в направлении внутреннего пространства печи, от 60 до 25 мм. Внизу печи оставляли отверстие, перед которым вырывали углубление для выхода и скопления шлака.

Человеческие легкие оказались слишком слабыми, чтобы обеспечить достаточно сильный поток воздуха, поэтому со временем вместо дутьевой трубки начинают применять мехи, сшитые из шкур животных. К печи приспособлялось обычно два меха, управляемые одним рабочим. Действуя попеременно то одним, то другим мехом, рабочий достигал довольно ровного потока воздуха.

Перед загрузкой в горн железную руду укладывали в кучи с дровами, разводили костры и в течение суток прокаливали. Затем ее измельчали до крупности ореха и перемешивали с древесным углем, составляя шихту.

Сыродутный горн просушивали и прогревали, разводя внутри него на продолжительное время костер. Затем горн наполняли на две трети древесным углем, и лишь после этого укладывали смесь руды и угля (шихту). Подача в горн дутья приводила к разжиганию угля, углерод которого в условиях недостатка кислорода горел до оксида углерода по реакции: $C + 1/2 O_2 = CO$. Таким образом, в печи создавалась восстановительная среда, способствовавшая восстановлению железа из оксидов. Восстановленное железо скапливалось в нижней части горна, так как оно тяжелее других компонентов, входящих в состав шихты. Попутно железо захватывает частички шлака. После того как прогорает весь уголь и переплавляется руда, получается пропитанный шлаком кусок железа – крица.

В результате процесса, продолжавшегося около суток, образовывалась крица массой сначала около 1–2 кг и по мере совершенствования печей до 25–40 кг. Крицу вытаскивали из горна деревянными клещами и затем проковывали. Многократной проковкой крицы в горячем состоянии «выжимали» шлак и получали железную поковку, представляющую собой так называемое сварочное, ковкое железо, или мягкую сталь. Содержание углерода в такой стали составляло 0,12–0,26 %; серы, фосфора и других примесей, как правило, было очень мало.

В более поздние времена процесс получения крицы оставался довольно простым. Со временем изменялась лишь технологическая оснастка (так, от дутья через трубки в раннем железном веке перешли к ручным мехам, а затем и к механизированным с приводом от водяного колеса).

2.3. Технологии обработки материалов в Древнем мире и античности

Государство возникает в разных регионах в разное время. Общества тех областей, которые испытывали воздействие государств, уже в древности приобрели новые черты, резко отличавшие их от первобытных обществ.

Систематические занятия земледелием и скотоводством позволяли людям иметь столько продуктов питания, чтобы скапливать их излишки. Эти излишки давали возможность некоторым людям значительную часть своего времени посвящать ремеслу – изготовлению каменных и металлических вещей, посуды, тканей. Часть изготовленного они отдавали своим соседям-родственникам, а те взамен давали продукты или что-либо другое.

В тех областях, где занятие земледелием и скотоводством не давало столь значительных излишков продуктов, общины могли быть обладателями шахт и рудников, в которых добывали руду. Ее обменивали как сырье или выплавляли металл и тогда в обмен пускали слитки. Потребность в металле была очень велика. Достаточно сказать, что обитатели Средиземноморья во II–I тыс. до н. э. отправлялись за оловом на земли нынешней Великобритании. В Месопотамии, где возникли первые государства, не было не только металлов, но и камня, и даже хорошего леса. За всем этим снаряжали экспедиции в горы Ирана и на запад. За камень и металлы давали ткани, зерно и другие продукты сельского хозяйства.

Земледельцы, создавшие первые государства, были довольно мирными людьми. В то время еще не существовало ни металлических мечей, ни шлемов, ни доспехов. Иным был быт народов Европы во II–I тыс. до н. э. Занятия земледелием и скотоводством не везде обеспечивали людей достаточным количеством пищи. Поэтому собирательство в лесах и охота сохраняли немалое значение. Меха, металлы, камень, а потом и рабы находили спрос в государствах Средиземноморья. Все это становилось желанной добычей. Грабеж близких и дальних соседей считался вполне достойным занятием для упрочения своего существования, повышения престижа и обогащения. Быть воином, равно как и обрести смерть в бою, считалось у этих народов почетным.

Один из признаков существования достаточно прочных объединений во главе с вождями – наличие больших сооружений, монументальных построек. Они могли быть созданы только благодаря усилиям многих людей. Все знают египетские пирамиды и огромные храмы. Но гораздо меньше известны сооружения в приморских областях Южной и Западной Европы, которые создавались в III–II тыс. до н. э. Эти так называемые мегалиты (по-гречески «мегас» – большой, «литос» – камень) поражали воображение людей, которые считали, что их создали великаны. Из огромных плит и столбов были сделаны аллеи, погребальные сооружения, что-то вроде храмов. Среди таких конструкций выделяется знаменитый Стоунхендж в Англии, который, как считают, был построен для наблюдения за светилами (рис. 2.13). Вероятно, в таких сооружениях могли хоронить умерших, но происходили в них и другие обряды, связанные, наверно, с почитанием сил природы и светил.

Ученые считают, что объединения во главе с вождями появились в Европе в III тыс. до н. э. и просуществовали очень долго, до формирования варварских королевств в раннем Средневековье. Сообщества, в основе которых лежали родственные связи, не были совершенно раз-

рушены ни завоеваниями римлян, ни нашествиями эпохи Великого переселения народов. Конечно, культура, хозяйство и отчасти общественные отношения изменились. В I тыс. до н. э. появляется и распространяется железо. Появление железных орудий резко повысило эффективность труда: теперь стало возможным пахать землю сохой с железным наконечником, что облегчило обработку почвы. Расширяется ассортимент орудий и оружия из металла, качество которого, однако, не везде было достаточно высоким.



Рис. 2.13. Мегалитическое сооружение Стоунхендж

Государства Древнего Востока. На Востоке в древности существовало множество государств: Египет, Сирия, Финикия, Иудея, Хеттское царство, Урарту, Ассирия, Шумер и Вавилония, Элам, Персия, Индия и Китай. Часто государства, имеющие давнюю историю и культуру, унаследованную с весьма глубоких времен, подобно Китаю, противопоставляются европейской культуре. Однако до сих пор вопрос о победителях в гонке Запад – Восток еще далеко не решен. На протяжении первых 14 веков нашей эры мировой центр, без всяких сомнений, находился не в Европе, а в Китае; до XIII–XIV вв. вряд ли уступала в развитии европейским странам и Индия. А ведь и Индия, и Китай уже имели к этому времени за спиной трехтысячелетнюю историю. Значит, «застойность» древневосточных обществ не помешала им долгое время сохранять экономическое, техническое и культурное превосходство над «передовыми» европейскими народами?

Самое простое объяснение особенностей истории Древнего Востока найдено давно: греки и римляне были более талантливы, чем народы Египта и Вавилона, поэтому они стремились к новому, развивались, а на Древнем Востоке привыкли довольствоваться уже достигнутым, известным. Но это неправда. Шумеры и египтяне были одарены от при-

роды не менее, чем греки. Чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на великие пирамиды, сохранившиеся намного лучше греческих построек. А ведь греческие храмы моложе пирамид на два тысячелетия! Древние архитекторы, владевшие лишь четырьмя арифметическими действиями, умели возводить сложнейшие конструкции, которым может позавидовать любой современный инженер. А с неиссякаемой фантазией создателей древних восточных мифов и сказаний не может сравниться вся изобретательность современных писателей и кинорежиссеров. Не забудем, что именно в древневосточных странах были придуманы и разработаны все основные виды письменности, и греки позднее лишь заимствовали и усовершенствовали самую удачную из этих разновидностей – финикийское письмо.

Народы, первыми в истории создавшие мощные государства и роскошные храмы, книги и оросительные каналы, заслуживают и интереса, и уважения со стороны потомков. Особенность же их заключалась в том, что все свои творческие силы, всю свою природную одаренность они расходовали не столько на изобретение чего-то нового, сколько на поддержание сложившихся, от века установленных порядков.

Представим себе, сколько сил нужно было потратить на то, чтобы просто сохранить невредимыми первые небольшие очаги высокой культуры земледелия и государственности. Стихийные бедствия, неурожаи, набеги полудиких и жадных до добычи соседей – все это угрожало загасить едва теплящиеся огоньки новых культур, возникавших в долинах больших рек примерно с 3000 г. до н. э. А сколько таких «огоньков» было раз и навсегда погашено? Точное их число мы вряд ли когда-нибудь узнаем. Мы плохо представляем себе, какие изменения происходили в душе человека, оставившего бродячую жизнь охотника и собирателя даров дикой природы и связавшего свою жизнь с клочком земли, кормившим его и семью. Охотник легко ускользал от воздействия враждебных сил природы – ему достаточно было сменить место охоты или стоянки, чтобы оказаться недосыгаемым для злых духов, в существование которых он твердо верил. Земледелец, как бы прикованный к своему полю, оросительному каналу и амбару с зерном, чувствовал себя беззащитным перед всеми силами мира, о которых он не знал, добры они или злы. Сегодня солнце давало земле тепло, а завтра оно же могло полностью сжечь побеги нового урожая. Следовательно, жителям первых государств приходилось решать не только сугубо практические задачи, но и формировать свои взаимоотношения с окружающей их природой. Обычно такое взаимоотношение принимало форму религии.

Причем часто правители государств возглавляли пантеон богов или, по крайней мере, были богоподобны.

Государство тех времен вполне эффективно распределяло среди населения продукты питания, следило за состоянием оросительной системы, организовывало дальние военные походы и делало еще множество полезных и просто необходимых дел. Трудно даже представить себе, сколько сил, ума, опыта и чутья требовало поддержание государственной машины в рабочем состоянии в довольно неблагоприятных условиях. Древневосточные правители действительно были подобны богам – из ничего, из хаоса, из первобытных форм организации труда и власти они умудрились создавать на диво отлаженный и без сбоев работающий механизм.

Может показаться, что почтение, выказываемое на Древнем Востоке администраторам и правителям, было лишь разновидностью угодничества и лести. Однако это не так или не совсем так. В глазах своих современников писец и жрец были творцами нового, очеловеченного мира, жить в котором было неизмеримо уютнее, чем в первобытном мире диких, враждебных человеку пространств. Люди Древнего Востока умели находить особую красоту в созидательной деятельности; символом же этого созидания для них было нанесение письменных знаков на папирус или глину. «...Заставлю я тебя полюбить писания более, чем свою мать, и да покажу красоту их перед тобой, ведь она больше красоты должности всякой, и не было подобной ей в земле этой», – наставляет своего сына египетский писец времен Среднего Царства.

Подумаем же с благодарностью о людях, которые создали изображения на каменных барельефах (рис. 2.14).

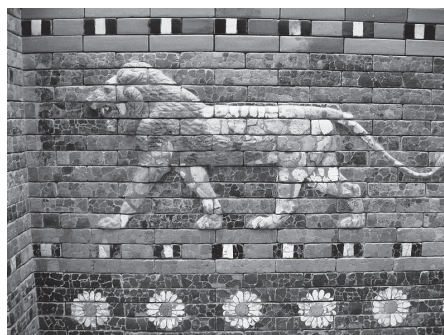


Рис. 2.14. Фрагмент барельефа с ворот Иштар (Вавилон), построены в 575 г. до н. э.

Возможно, теперь они уже не кажутся нам такими непонятными и далекими. Мы видели, как они трудились над миром, в котором им довелось жить, как они пытались сделать его более близким и доступным. Благодаря этому и сами они становятся близкими нам.

Египет. Египет обладал сложной региональной структурой, состоящей из провинций – номов. Ко времени образования единого египетского царства (около 3000 г. до н. э.) таких номов насчитывалось примерно сорок.



Рис. 2.15. Бюст царицы Нефертити, ок. 1351–1334 гг. до н. э., известняк

Египтяне были трудолюбивыми земледельцами и получали на своих богатых землях самые высокие в древнем мире урожаи, хотя орудия, которыми они работали, почти не отличались от тех, что применяли другие народы Древнего Востока. Изобилие зерна в стране позволило освободить часть людей от работы на земле и использовать их как строителей или солдат.

В самые ранние времена египетские воины сражались в панцирях и прикрывались щитами, сделанными из высушенных до твердости дерева шкур. Со временем они отказались от панцирей, а щиты стали изготавливать из коровьих шкур, натянутых на раму. Голову каждого воина защищал шлем-парик из шерсти и волоса. Их вооружение составляли луки, стрелы, копья, дротики, различные булавы, метательные дубинки, бумеранги, оригинальные секиры – металлический сегмент или прямоугольник, вставленный в отверстие в древке и примотанный к нему веревками или ремешками.

В определенный период египтяне столкнулись с воинственными кочевниками, пришедшими из северных областей современного Ближнего Востока. Азиатские воины сражались большими, похожими на серпы бронзовыми секачами, тяжелыми, страшной пробойной силы топорами, мощными луками с тяжелыми стрелами, защищались стегаными панцирями и шлемами, прямоугольными щитами из кожи и прутьев. Победу воинам-кочевникам обеспечили легкие двуколки, запряженные двумя или четырьмя конями; на них высились лучники (либо копейщики, секироносцы, мечники), закованные от колен до губ в броню из бронзовых пластин. Вид коней, колесниц, воинов, сделанных, казалось,

из ослепляющего, блещущего солнцем металла, произвел на египетских воинов ошеломляющее впечатление. Гиксосы – так называли египтяне завоевателей – почти на два столетия овладели северной частью страны.

Египтяне в течение этих веков времени даром не теряли. Они заводились конями и колесницами. И хотя защитного вооружения у гиксосов не позаимствовали, колесничное дело поставили по-египетски масштабно: вместо единичных экипажей у них появились тысячи колесниц. И вот уже преobraженное войско громит гиксосов, изгоняет их из страны и на плечах разбитого противника врывается в Ханаан, соседние районы Восточного Средиземноморья.

Со временем натиск египтян стал встречать крепнущий отпор. Мелкие государства Сирии и Палестины начали объединяться в коалиции, да и вооружение местных воинов превосходило египетское: распространялись и совершенствовались металлические и кожаные, усиленные металлом, панцири и шлемы. Металлом обшивали защитные попоны коней, обивали кузова колесниц. Но все это не очень помогало выстоять против дисциплинированного, обученного и огромного египетского войска.

Главной целью войны были различные ресурсы, которые в Египте были в дефиците. Среди них – материалы, служащие для изготовления драгоценных украшений, предметов культа (а он был сложным и весьма затратным), например редкие породы дерева, слоновая кость, золото, драгоценные камни.

Однако добыча таких редких и дорогих материалов была не единственной причиной, заставлявшей фараонов отправляться с войском в чужие края. Дело в том, что Египет не имел хорошей древесины для строительства кораблей, рудников для добычи различных металлов и даже камня, необходимого для строительства храмов и дворцов.

Чем совершеннее становились египетские постройки и инструменты ремесленников, тем больше страна зависела от ввоза нужных материалов из чужих краев. Широкое применение меди потребовало постоянного присутствия египетских военных отрядов на Синайском полуострове, где находились самые богатые медные рудники. Из Леванта же вывозили ценные породы деревьев (могучие леса Ближнего Востока свели еще в те времена, и уже более 4 тыс. лет Ближний Восток представляет собой полупустыню). Еще сложнее стало положение Египта, когда около 1500 г. до н. э. стала широко применяться бронза – сплав меди и олова. Оружие, изготовленное из бронзы, было намного лучше медного, и армия, вооруженная бронзовыми мечами, стрелами

и копьями с бронзовыми наконечниками, имела большое превосходство над противником. Медь египтяне могли достать, а вот оловянных рудников поблизости не было, и знаменитым фараонам эпохи Нового царства (1580–1085 гг. до н. э.) Тутмосу III и Рамсесу II приходилось вести длительные и тяжелые войны в Сирии и Палестине вплоть до реки Евфрат, чтобы поставить под египетский контроль главные торговые пути, по которым перевозили олово. В отдельных случаях египтяне покупали необходимые им продукты и материалы, но чаще всего они стремились получить нужное силой.

В Древнем Египте предметы из золота были в обиходе еще в додинастический период (5000–3400 гг. до н. э.). Золото добывалось из россыпей и из твердых кварцевых пород. Археологи насчитывают в Египте не менее 100 древних разработок золота. Немало золота поступало и из других стран. По добыче и применению золота, распространению ювелирных изделий и других художественных предметов золотообрабатывающего производства Египет занимал ведущее положение в странах Древнего Востока. Современники фараонов увековечили это в своих рукописях, а археология предоставила нам возможность судить об уровне древней культуры и ремесел Египта на основании многочисленных находок вещественных памятников прошлого.

Из древнейших находок до нас дошли разнообразные предметы ремесленного производства IV–III тыс. до н. э., в том числе золотые браслеты, искусно сделанные из золота фигурки птиц, золотая фольга и т. п.

Способы добычи золота в Древнем Египте описал греческий писатель II в. до н. э. Агатархид, посетивший золотые рудники этой страны. Он писал, что глыбы горной породы разрушали огнем, затем кирками и молотами дробили на более мелкие части, толкли в больших каменных ступах до величины гороха. После этого следовала операция помола в ручных мельницах до превращения кусочков породы в мелкий порошок. Для отделения металла от породы ее промывали водой на наклонных каменных столах. Полученный таким образом порошок золота затем сплавляли в небольшие слитки. Наиболее распространенными драгоценными сплавами, применяемыми египтянами, были сплавы золота с серебром, иногда – золота с серебром и медью. Сплавы содержали от 72 до 99,8 % золота.

Отдельные этапы работы золотых дел мастеров изображены в стенных росписях некоторых египетских гробниц эпохи фараонов IV–VI династий. Известность получило изображение процесса изготовления золотой отливки, найденное в гробнице фараона Мереруба, на ко-

тором можно видеть чиновника, отвешивающего необходимую порцию золота, и писца, записывающего его количество (рис. 2.16). Далее следует изображение шести человек, раздувающих горн специальными дутьевыми трубками. Затем видим мастера, разливающего расплавленный металл из тигля в форму, стоящую на земле, и его помощника, задерживающего шлак. На завершающей стадии два кузнеца отбивают слиток камнями, придавая ему товарный вид.



Рис. 2.16. Процесс изготовления золотой отливки в Древнем Египте (2315–2190 гг. до н. э.)

Любопытное изображение технологического процесса изготовления отливок из бронзы обнаружено в египетской гробнице, относящейся к середине II тыс. до н. э. Трое рабочих (должно быть, рабов, поскольку за ними наблюдает надсмотрщик с палкой) подносят металл к горну, где происходит плавление. Видны плавильные тигли, кучки древесного угля, корзина, в которой он доставлен в «литейный цех». Двое рабочих, обслуживающих мехи, и третий – с «кочергой» разводят и поддерживают огонь в горне. При помощи прутьев двое рабочих извлекают тигель с расплавленной бронзой из горна и переносят к литейной форме – здесь ведется разливка. Древний художник сопроводил рисунки текстом: иероглифы поясняют, что изображена отливка больших бронзовых дверей для храма, причем металл по указанию фараона доставлен из Сирии.

По мнению ученых-египтологов, во II тыс. до н. э. металлургия меди достигла в Египте огромных масштабов: в стране в то время действовало не менее тысячи медеплавильных печей. Однако затем, как свидетельствуют многочисленные исторические документы, производство этого металла резко сократилось. Неужели египтяне перестали нуждаться в меди? Эту загадку удалось разрешить: археологические раскопки показали, что древнеегипетская медная «промышленность»

пострадала от... энергетического кризиса, охватившего в те далекие времена этот регион. Используемые в качестве топлива для медеплавильных печей пальмы и белые акации, росшие по берегам в дельте Нила, были полностью вырублены и сожжены. Потеря оказалась невосполнимой, и выплавка меди на длительное время прекратилась.

Шумер. Историки и археологи потратили немало сил, стараясь разгадать секреты истории Шумера. Сейчас мы знаем, как выглядели шумеры, в каких богов они верили, как вели хозяйство, воспитывали детей. Археологи ходят по улицам древних шумерских городов, восстанавливают расположение домов и храмов.

Страна Шумер получила свое название от народа, поселившегося около 3000 г. до н. э. в низовьях реки Евфрат, неподалеку от впадения ее в Персидский залив. Евфрат разделяется здесь на многочисленные протоки – рукава, которые то сливаются, то расходятся вновь.

Небольшие деревни располагались довольно далеко от воды, так как Евфрат разливается летом очень бурно и неожиданно, и наводнения всегда были здесь очень опасны (память о великих потопах сохранилась в шумерских преданиях).

Шумеры сильно отличались от окружающих их народов – и прежде всего своим языком. Однако в наши дни ученые умеют читать шумерские тексты, уже составлены многотомные словари шумерского языка.

Обилие глины, из которой делали дома и посуду, предметы утвари и детские игрушки, подсказало шумерам мысль о том, чтобы писать на глиняных табличках. Писец работал так: из сырой глины изготавливалась небольшая плоская табличка, на которую острой палочкой наносились письмена (рис. 2.17). Историки называют шумерское письмо клинописью. Не очень нужные записи потом можно было стереть, а таблички с важными документами обжигали на огне, и они становились твердыми, как камень.

Обладая плодородными землями, шумеры со временем поняли, какие высокие урожаи можно получать, если осушить болота и провести воду к сухим участкам. Орошение полей в Междуречье было сложным делом. Разумнее всего в этих условиях было бы руководить орошением полей из одного места, а не доверять каждому крестьянину прорывать оросительные каналы, как ему вздумается.

Такими центрами управления сельским хозяйством, а значит, и всей жизнью людей в Шумере стали храмы. В крупных храмовых хозяйствах было много жрецов, которые специально занимались изме-

рением земельных участков, организовывали прокладку каналов, вели счет собранному урожаю. Именно храм управлял жизнью соседних городов и деревень, собирал с населения подати, раздавал еду в голодные годы. Историки называют объединяющихся вокруг храма людей храмовой общиной.

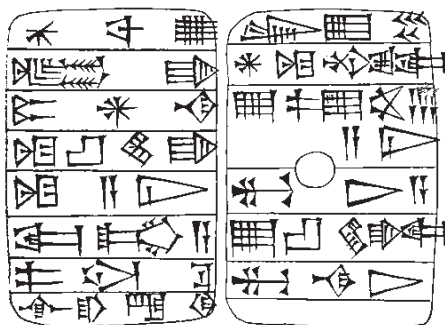


Рис. 2.17. Глиняные таблички с клинописью

Знания, накопленные предками, передавались мальчишкам и юношам в многочисленных храмовых школах. Здесь учили читать клинопись, вести хозяйственные записи, наблюдать звездное небо, точно определять площади земельных участков. Шумеры высоко ценили мудрость, которая, по их мнению, была сосредоточена в ушах человека; поэтому многие изображения людей отличались у них большими оттопыренными ушами. Мы лучше поймем характер шумеров, оценим их любовь к знанию, если сравним эти изображения с портретами, например, ассирийских царей, воинственных и безжалостных. Шумерские правители нередко повелевали запечатлеть себя в особой «позе строителя» – с чертежом здания, разложенным на коленях, с небольшим ведром сырой глины, поставленным у ног. Этот народ больше любил строить, чем воевать, и образ созидателя, по мнению шумеров, больше подходил правителю, чем облик воина.

Ассирия. Завершая далеко не полную картину, характеризующую первые государства, рассмотрим интересные находки, найденные археологами на территории древнего государства Ассирия.

Саргон II, ассирийский царь, имел свою резиденцию севернее Ниневии – самого крупного города Ассирии, численность населения которого составляла около четверти миллиона человек.

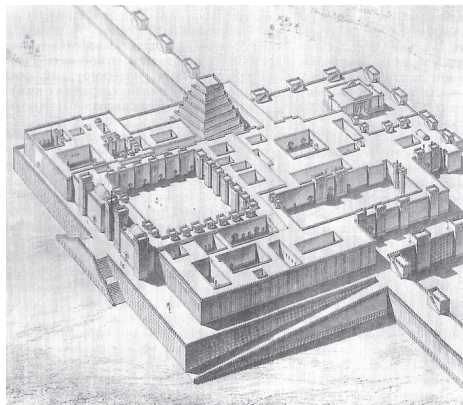


Рис. 2.18. Панорама Дур-Шаррукина, реконструкция

Армия рабов, применяя удивительную даже для нас организацию труда, выстроила дворец и город Дур-Шаррукин (рис. 2.18) менее чем за четыре года (711–708 гг. до н. э.). Это была почти немислимая работа, если учесть технические возможности того времени, но факт ее подтвержден документально.

Дур-Шаррукин раскинулся на территории площадью около 300 га, представлявшей собой почти квадрат с размерами сторон 1 780 и 1 685 метров. Улицы располагались под прямыми углами друг к другу, были предусмотрены водопроводная и канализационная сети. Функционировали они хорошо. Во дворце и в большинстве домов действовали вентиляционные системы, которые без преувеличения можно назвать системами искусственного климата.

На насыпной платформе возвышалась прямоугольная в плане цитадель, куда входили царский дворец с большим числом помещений (около 200), группировавшихся вокруг асимметрично расположенных открытых внутренних дворов, дворцы знати и др. На вершине более чем сорокаметрового по высоте террасообразного сооружения, так называемого зиккурата, находилось святилище. Все группы сооружений соединялись между собой легко перекрывававшимися переходами. Стены мощного дворцового сооружения были украшены рельефами с изображением эпизодов военных походов Саргона II, придворного быта и других сцен. Парадные арочные ворота-порталы имели по бокам башни, у подножия которых располагались громадные фигуры хранителей в виде крылатых быков с головой человека.

Дур-Шаррукин, окруженный двойной зубчатой городской стеной с восемью укрепленными воротами, являл своими башнями, высоко вздымающимся зиккуратом и царским дворцом окаменевший монумент ассирийской мощи.

Когда в 1843–1846 гг. французский консул Поль Эмиль Ботта (1802–1870), итальянец по рождению, отличавшийся страстью к кладоискательству и почерком древних грабителей захоронений, раскопал Дур-Шаррукин, мир был потрясен размерами и красотой резиденции Саргона II, ее многочисленными сооружениями, скульптурами, рельефами.

После Ботта раскопками в этом районе занималось множество других людей, причем некоторые из них намного успешнее. Среди них следует назвать Виктора Плейса (1818–1875), который, будучи дипломатом, вел раскопки в развалинах Дур-Шаррукина.

Однажды он наткнулся на железохранилище – помещение длиной в пять, шириной в два с половиной и высотой в полтора метра, заполненное до предела железными крицами. Они имели своеобразную форму, и потому Плейс принял их за инструменты, назначения которых он, правда, не мог понять (рис. 2.19). Отверстие на одном конце крицы, по его представлению, могло бы служить для крепления деревянной ручки, но оно было небольшим, а значит, ручка не могла быть достаточно прочной. Выполнять «инструментом» с такой ручкой какие-либо работы было бы невозможно.



Рис. 2.19. Железная крица из Дур-Шаррукина

Форма крицы имеет очень простое объяснение – небольшое отверстие предназначено для продевания веревки при перевозке железа, а оттянутый конец служил для снятия «пробы» металла при его продаже.

Найденное железо Плейс отправил во Францию, но большая часть его погибла вместе с судном вблизи Сицилии. Лишь несколько криц достигли Парижа, где и сегодня можно видеть в Лувре, однако очень немногие посетители обращают внимание на непримечательные куски железа.

Технологии обработки материалов на Древнем Востоке. Подведем итог технологического развития Древнего Востока, резюмируя рассмотренные нами примеры и обращаясь к археологическим находкам.

Основными материалами органического происхождения в рассматриваемый период были: дерево, разнообразные шкуры животных, кости животных и рыб, а также раковины моллюсков. Из дерева изготавливали различный бытовой и хозяйственный инструмент, строили дома, повозки и лодки, делали оружие. Шкуры животных применялись для изготовления одежды, защитного вооружения, у некоторых народов для постройки временных жилищ (типа палаток). Достаточно широко применялся такой нетканый материал, как войлок, изготовленный из сваленной шерсти. Из войлока также делали одежду, доспехи, применяли его для бытовых нужд. Подходящие по форме и размеру кости животных использовали как землеройный инструмент – лопатки как кирки, в некоторых случаях плуги. Из рыбьих костей делали рыболовные приспособления, крючки, гарпуны, различные шила и иглы для шитья. Раковины применяли как посуду, музыкальные инструменты (для этих же целей применяли и рога животных), детали одежды, типа пуговиц, также делали из раковин.

Кроме перечисленных материалов широко применялось прядение шерстяных и хлопчатых нитей и производство из них тканей. Все народы делали веревки из различных растений.

Из неметаллических и неорганических материалов можно выделить глину. Из глины делали посуду, различные емкости для хранения продуктов. Глиняные кирпичи сушили на солнце и строили из них дома, причем, например, у народов Междуречья из таких кирпичей делали и бедные хижины, и дворцы правителей. Из глины и камней делали печи как хозяйственного назначения, так и печи для выплавки стекла и металла.

Другим неметаллическим материалом было стекло. Знакомство со стеклом, вероятно, произошло еще в первобытные времена, когда в местах попадания молний в песок образовывались неровные куски мутного стекла. Практически все древние народы знали технологии плавки стекла, а значит, и стеклодувного производства. Правда, стекло было весьма дорого и относительно слабо распространено, большинство населения обходилось глиняной посудой. Кроме посуды, стекло шло на изготовление украшений – бусин.

Каменные орудия использовались практически повсеместно наравне с металлическими. Это объясняется высокой доступностью и низкой ценой каменных изделий. Поэтому очень долгое время в бронзовый и даже железный век малоимущие слои населения простейшие инструменты, типа молотка или ножей, изготавливали из камня.

Из камня возводили различные сооружения, храмы, дворцы, гробницы. Дворцы в Междуречье, возведенные из необожженного кирпича, часто украшались каменными барельефами. В древности умели обрабатывать и мягкие породы камня, такие как известняк, туф, мрамор, и очень твердые, такие как гранит. Конечно, это было бы невозможно без применения различных металлических инструментов.

Среди металлов, известных на Древнем Востоке, можно назвать медь, железо, золото, серебро, свинец, ртуть. Олово в чистом виде древние выплавлять не умели, но совместное плавление оловянных и медных руд давало сплав олова и меди – бронзу.

Золото, серебро применялись в основном для ювелирных украшений. Железо и бронза – основные металлы, из которых изготавливали орудия труда и оружие.

Рассматривая использовавшиеся древними технологии, нельзя не отметить высочайший уровень литейного мастерства. Многочисленные изделия из золота и бронзы, дошедшие до наших дней, демонстрируют сложнейшую технологию. Литейные формы, по-видимому, изготавливали из глины, а для уникальных изделий имелись свои особые технологии, такие, например, как литье по восковым моделям.

Технология получения железных изделий не позволяла получать достаточно высоких температур, чтобы привести железо в жидкое состояние, поэтому железные отливки не применялись. Для железа основной обработкой являласьковка нагретых заготовок. Сами железные крицы, полученные в кричном горне, были пропитаны кусочками шлака и захваченными частицами топлива. Чтобы повысить качество металла, крицу многократно проковывали, выжимая таким образом из металла посторонние примеси. В результате такой обработки куски шлака удалялись и металлу придавалась форма готового изделия. Наковальни и молоты, вероятнее всего, делали из камней подходящего размера и формы.

Вообще до наших дней дошло относительно немного железных изделий того времени. Это связано с тем, что те изделия, которые находились в бытовом обороте, в последующие времена были перекованы, а потерянные изделия – радость археологов – проржавели за прошедшие тысячелетия до полного исчезновения.

Из чистой меди, обладающей хорошей пластичностью в холодном состоянии, чеканили посуду, элементы доспехов, украшения. Аналогично в холодном состоянии выковывались золотые изделия, небольшие статуи, украшения. Из меди или бронзы ковали гвозди для скрепления элементов судов – они не ржавели в воде.

Неразъемные соединения металлических изделий получали несколькими способами. Первый – способ так называемой кузнечной сварки. Две железные детали нагревали в открытом горне, затем помещали одну на другую (в качестве флюса, предотвращающего окисление – появление окалина, применяли кварцевый песок) и совместно пластически деформировали. Этот способ применялся для железных изделий и вполне успешно дожил до наших дней (например, схожим образом изготавливают стальные трубы отопления, сворачивая металлическую полосу и сжимая края (так называемая печная сварка)). В результате получалось прочное неразъемное соединение. Второй способ – скрепление двух или более деталей заклепками. Заклепками скрепляли бронзовые листы на боевых колесницах, мелкие пластины на доспехах воинов, с помощью заклепок собирали большие изделия типа ворот храмов из нескольких более мелких отливок.

В качестве молота вначале применяли обычные куски твердого камня. Первобытный умелец, зажимая камень в руке, наносил им удары по куску самородного или выплавленного из руды металла. Такая примитивная техникаковки сначала существовала, вероятно, у всех древних народов. Затем эволюция этого простейшего способаковки привела к созданию прообраза современного молота, снабженного рукояткой, или молотовищем. Но время появления молота с рукояткой определить пока невозможно. Необходимо лишь отметить, что оба способа существовали в течение длительного времени, о чем свидетельствуют дошедшие до нас древние настенные росписи и рисунки на саркофагах.

Распространенным способом получения герметичных и прочных соединений была пайка. Древние ювелиры обнаружили, что для соединения металлов и сплавов путем заливки шва жидким металлом можно применять такие сплавы, которые плавятся при меньшем нагреве, чем основной соединяемый металл. Например, стоило только в золото добавить медь или серебро, как образовывался сплав с меньшей, чем у исходных компонентов, температурой плавления. Спустя тысячи лет металловеды исследуют влияние составов сплавов на температуру плавления, начертят диаграммы состояний всевозможных комбинаций металлов и неметаллов и, в частности, установят, что сплав 20 % золота с 80 % меди плавится при температуре 886 °С (тогда как температуры плавления технически чистого золота 1 064 °С, а меди – 1 083 °С), сплав 70 % серебра с 30 % меди – при 780 °С (температура плавления чистого серебра 961 °С).

Это свойство сплавов было использовано для пайки. Между частями, которые нужно было соединить в целое изделие, закладывали ку-

сочки сплава-припоя и собранное таким образом изделие нагревали до температуры, достаточной для расплавления припоя, но не основного металла. Припой растекался по зазору, смачивал кромки, диффундировал в металл и после остывания схватывал кромки. Искусство пайки совершенствовалось методом проб и ошибок, появлялись новые припои, начали применять флюсы, снимающие, растворяющие и связывающие оксиды, которые мешали пайке.

Многие золотые украшения и предметы быта, найденные в скифских курганах, сделаны с помощью пайки. Своей поразительной красотой шедевры древнего искусства обязаны не только таланту художников, но и мастерству умельцев, осуществивших микропайку деталей. Причем на многих изделиях невозможно даже заметить шов. Как и в странах Древнего Востока, в скифском государстве паяли твердыми тугоплавкими материалами: золотом, серебром, их сплавами с медью.

Значительный интерес для исследователя технологий обработки металлов у древних народов могут представлять способы получения проволоки. Установлено, что наиболее ранние образцы проволоки изготовлены ковкой. Как правило, поверхность такой проволоки неровная, форма и площадь ее поперечного сечения по длине неодинаковая. Существовало два основных способа получения кованой проволоки. При первом способе слиток или кусок металла расковывался молотком в прутки заданной толщины и профиля. При втором способе из слитка или куска металла ковкой получали лист, затем разрезали его на квадратные полоски, края которых округляли ударами молотка. Существовал также способ, похожий на второй, с той лишь разницей, что разрезка листа производилась не прямолинейно, а по спирали. При спиральной резке получались длинные куски проволоки – в этом ее преимущество. Примером практического применения спиральной резки металла, вероятно, могут служить полоски из золота длиной более 1,5 м, найденные в одной из гробниц Ура.

Попытки облегчить кропотливый и тяжелый труд, желание производить более изящную и тонкую проволоку привели к тому, что постепенно (к IV тыс. до н. э.) был выработан новый способ обработки проволоки. Для сглаживания неровностей, калибрования и уплотнения проволоки ее стали протягивать через отверстия в твердых материалах. Образцы такой проволоки из золота, датированные IV тыс. до н. э., найдены в Египте. Впоследствии эта операция полирования и выравнивания поверхности проволоки развивалась в волочение. Считают, что в самом примитивном виде способ волочения начали применять в древнейший

период (еще до появления металлических орудий) для отделки стержней дротиков и гарпунов. Стержни изготавливали из сырого дерева и затем калибровали протаскиванием (волочением) через костяные выпрямители. Еще и в настоящее время североамериканские эскимосы и индейские племена пользуются подобными выпрямителями для протяжки сырого деревянного стержня стрелы, чтобы придать ему при высыхании максимальную прямизну.

Раскопки погребений в Египте периода Среднего царства (2800–2500 гг. до н. э.) подтверждают, что техника выпрямления деревянных прутков была известна в древности. Можно предположить, что в дальнейшем аналогичное «калибрование» стали применять и к кованым пруткам из цветных металлов, используя деревянные калибры. В результате такой протяжки можно было сделать поверхность прутка гладкой и полированной. Подобные калибры изготавливали, вероятно, из твердых деревянных досок путем выжигания в них конических отверстий. Если дерево было твердым и отверстие калибра несколько меньшим, чем диаметр прутка, то пруток, неоднократно протянутый через отверстие, делался тоньше, удлиняясь. Таким образом происходило волочение. Дерево, обладающее низкой стойкостью на истирание, впоследствии было заменено другими, более прочными материалами, например кремнем. Так, во многих странах мира найдены камни с просверленными коническими отверстиями. Очевидно, кремневые калибры употреблялись с давних времен, так как искусство сверления отверстий в камнях при помощи песка и воды – изобретение неолитического периода.

Древние мастера умели высверливать в камнях отверстия не только больших, но и малых диаметров. Сверление производилось лучковой дрелью, хорошо известной египетским ремесленникам. Способ сверления с помощью лучковой дрели изображен в ряде гробниц, относящихся к 1580–1350 гг. до н. э.

Абразивным материалом при сверлении служили кварцевый песок, толченый кремень и другие порошкообразные материалы. Конические отверстия, похожие на «глазок» волюки, могли просверливать либо медным, либо каменным острием при помощи абразивного материала.

Интересны технологии покрытий. В древности была известна технология золочения изделий. Суть технологии заключалась в растворении золота в жидкой ртути – получение золотой амальгамы. Затем амальгамой покрывали бронзовое или железное изделие, грели его, ртуть испарялась, а золото формировало на поверхности красивое покрытие. Другой способ получения покрытий на металлах – технология

эмалирования. На металлическое изделие насыпали порошкообразный состав, который, вероятно, состоял из кварцевого песка, красителя и, возможно, еще каких-либо добавок. Затем изделие нагревали, состав расплавлялся, и в результате на поверхности образовывалось твердое цветное стеклообразное покрытие – эмаль.

Характеризуя уровень организации производства, можно сказать, что производство носило ремесленный, индивидуальный характер. Большинство профессиональных ремесленников работали в одиночку или с несколькими подмастерьями и, возможно, родственниками, с которыми делились секретами мастерства. Все производство было полного цикла, т. е. поиск или покупка подходящей руды, строительство печей, выбор и добыча топлива, плавка металла, изготовление изделий из него и их продажа лежали на плечах ремесленника. Никакого разделения труда не происходило, за редким исключением невероятных построек, типа египетских пирамид, где все же специализации у рабочих были.

В таком состоянии технологии дошли до античных времен, где были произведены некоторые усовершенствования.

Античность. Уже на протяжении пятисот лет, начиная с эпохи Возрождения, европейцы называют историю Древней Греции и Древнего Рима золотым веком человечества. Античная культура имела множество притягательных сторон, сильно воздействующих и на современных людей: разумное и соразмерное человеку устройство общества, гармония человека и природы, сочетание религиозного чувства с большой свободой мышления, постоянная устремленность к красоте и рациональному познанию. Попытки «возродить античность» очень многое дали Западной Европе Нового времени, хотя, конечно, результаты этого «возрождения» сильно отличались от античных образцов.

На скудных землях материковой Греции бессмысленно было создавать крупные царские хозяйства, основанные на труде тысяч подневольных людей, как это происходило в Египте и Междуречье. У греков государство не стало сложным и хорошо отлаженным хозяйственным механизмом – напротив, оно сохранило все основные черты общинной организации, простой и основанной на равенстве ее членов. Сохранение общинного строя избавило эллинов от необходимости «подгонять» свои верования под требования сильной централизованной деспотии; полис, или община-государство, был силен не столько единством веры своих граждан в богов, сколько единством их интересов. Поэтому греки отличались большой терпимостью, если не сказать равнодушием, во всем, что касалось религии. Позволительно было высказывать любые

взгляды о происхождении мира и богов, рассказывать не совсем приличные истории о громовержце Зевсе, иронически изображать богов во время театральных представлений. Сурово наказывались лишь воровство в храмах и осквернение статуй богов, выставленных на улицах и площадях (рис. 2.20).



Рис. 2.20. Вид на Акрополь в Афинах, увенчанный храмом Парфенон, построен в 447–438 гг. до н. э.

Полис оказался настолько удачной формой совместной жизни людей, что не нуждался в религиозных подпорках. Эллы обрели невиданную ранее свободу в обращении с миром богов и таинственных сил, распоряжающихся человеческой судьбой. Они впервые смогли наметить границу между разумом и мифом, между человеком и природой. Человек перестал быть простой игрушкой в руках равнодушных богов или их лукавым, но слабым противником. Грек становится «наблюдателем мира», как бы театральным зрителем, одновременно продолжая чувствовать себя затерянной в космосе пылинкой. Наблюдателю было интересно все – и ход небесных светил, и соотношение сторон геометрических фигур, и перебранки между богами.

Эта позиция «наблюдателя» определила многое в характере греков. Именно она породила неподражаемую греческую иронию, склонность к неторопливым, спокойным раздумьям и любовь к театральным представлениям. Естественно, что наблюдатель считал центром мира ту точку, с которой он производил свои наблюдения, поэтому мир эллинской культуры резко противопоставлялся иноплеменному, варварскому (слово «варвар» происходит от греческого «барбарос» – «бормотание, несвязная речь»; так греки называли тех, кто не знал их языка). Грек не только напряженно вглядывался в мир, но еще и умел рассказать о нем;

он сознательно использовал живую речь как зеркало, отражавшее Космос. Умение точно и красиво говорить расценивалось греками как проявление человеческой силы, способности к овладению миром.

Итак, речь – это проявление силы, признак способности видеть мир в истинном свете. Соответственно этому люди, лишённые правильной речи, варвары, – это слабые люди. Они должны быть рабами эллинов. Там, где греки не имели возможности поработить варваров, они попросту изгоняли их, чтобы занять приглянувшиеся земли. Так греки поступали при основании заморских колоний, например Сиракуз и Леонтины.

Эллины меньше, чем их соседи на Востоке, боялись мира неведомых сил и богов, в котором жил человек. Они называли этот мир Космосом и считали его разумным. Космос управляется законами, а не капризами богов. Привычка побеждать в себе страх порождала гражданское мужество, готовность рискнуть жизнью ради сохранения свободы, которую в Элладе ценили так высоко. Свободный дух греков помог им увидеть всю прелесть человеческой фигуры и лица, лишённых страха и униженности и просветлённых работой мысли и чувства. Статуи знаменитых скульпторов Поликлета, Фидия и других служили эллинам своеобразными зеркалами; они любовались собою неустанно.

Все это вместе взятое – презрение к чужому, склонность к самолюбованию, к бесконечной игре с новым, только что открывшимся человеку миром, – быстро привело греков к вычурности в искусстве, отвлечённым рассуждениям в философии и к полному бессилию в политике. Если античная история и содержит в себе какие-то уроки для наших дней, то главный из них заключается в следующем: жизнь народа не может превращаться в захватывающую, великолепную, величественную, но всего лишь игру с Космосом.

С некоторого времени события в Элладе стали привлекать к себе пристальное внимание в далекой Италии: «наблюдатели»-греки понемногу начинают чувствовать на себе цепкий взгляд нового наблюдателя – Рима.

Принято считать, что между греками и римлянами было много общего – полисный строй, близкие верования, единая средиземноморская культура. Это сходство действительно существовало, но оно скрывало и глубокие различия, которые, пожалуй, были серьезнее внешнего сходства. Римляне, в отличие от греков, умели проводить границу между серьёзными делами и играми: они в упоении следили за травлей зверей и гладиаторскими боями на арене цирка, но, возвращаясь после празднеств к себе домой, вновь становились скупыми и прижимистыми хозя-

евами, строгими главами семей и дисциплинированными чиновниками. В Риме любили поговорку: «Развлечения – после дела». Да и развлечения римлян отличались от эллинских: греки предпочитали театр, где все было не взаправду, «понарошку» и казалось игрой ума – маски на лицах актеров, их необычайно высокая обувь; римлянам же нравились игры, похожие на жизнь, – после этих игр трупы проигравших крючьями улакивали с арены.

Главным же делом мужчины римляне считали заботу о благе семьи (по-латыни – «фамилии»). Римский полис-государство при этом также рассматривался как большая, разросшаяся семья, руководимая почтенными старцами – главами отдельных родов (слово «сенатор» первоначально значило «человек преклонных лет», а обозначение «патриций» восходило к слову «отец»). Один из самых почетных титулов римского императора выглядел как «отец отечества». От римлянина требовалось беспрекословное подчинение главе «фамилии»; такую же дисциплинированность должен был проявлять и государственный служащий по отношению к вышестоящему начальнику. Проявление своеволия каралось со всей суровостью: консул Тит Манлий Торкват без колебаний казнил за подобное нарушение родного сына.

Из сказанного видно, что полис для римлян являлся лишь продолжением «фамилии» и должен был служить ее процветанию. Не случайно римляне, в отличие от греков, смогли в конце концов подменить полисный строй правлением императоров – империя сулила римской «фамилии» больше благ, чем республика.

Римляне продвинулись на один шаг дальше греков: эллины оказались как бы прикованы к полису, даровавшему им свободу; римляне же, сохранившие древнюю «фамилию», сохранили тем самым и возможность переустройства своей политической жизни, поиска нового, созвучного времени политического строя. Эти черты римского характера и особенности римской истории сделали жителей города на семи холмах и прилежными учениками эллинов, и их яростными критиками, и, в конце концов, их победителями и наследниками.

Опыт эллинской культуры оказался слишком соблазнительным для римлян, и искушение перевесило традиционную римскую осмотрительность. Дело в том, что греческое «исследование Космоса» было понято в Риме как возможность установления господства над миром. Практичные римляне полагали, что умение «видеть» мир в истинном свете, свойственное хитроумным грекам, должно быть употреблено с пользой; эллины же без дела расточают свой магический талант в сло-

вопреки бездомных и нищих философов, в изобретении никому не нужных механических игрушек и красноречия наемных поэтов и адвокатов. Римский историк Тит Ливий назвал греков «легкомысленными»; это была не простая оценка, но приговор, который Рим намеревался привести в исполнение.

Следующий шаг в том же направлении они сделали, поставив своей целью овладение миром, а не наблюдение за ним. Империя должна была организовать Вселенную по законам разума и человеческой свободы, привести человека к окончательному равновесию с богами и природой.

Наивно было бы думать, что римляне были грубыми солдатами-завоевателями, рассчитывавшими только на силу меча и воинскую дисциплину. Таких народов в истории было немало, и ни один из них не создал ничего похожего на Римскую империю. В основание здания империи римляне заложили единство человеческого разума и воли богов; то, что разумно и полезно всем, не может быть неудобно силам, которые управляют миром.

Создание империи завершилось блестящим успехом. На протяжении нескольких веков миллионы жителей обширного «римского мира» наслаждались спокойствием и довольством, понемногу перенимая язык римлян, их право и административные принципы, усваивая плоды греко-римской культуры. Казалось, что в Риме исправили ошибку эллинов: новые хозяева мира доказали, что разум приносит благо лишь тогда, когда он обретает власть, повелевает десятками легионов и тысячами чиновников, прокладывает дороги и мосты (рис. 2.21), превращает варваров в римлян. Надо сказать, что в процессе создания империи у римлян выработалось терпимое, а подчас и уважительное отношение к галлам и дакам, германцам и иллирийцам, совершенно не свойственное грекам.

Крушение Римской империи стало финалом античной истории. Человечество в первый (но не в последний) раз усомнилось в способности своего разума противостоять миру на равных. Богатый опыт уходящей античности заставил людей дополнить разум верой. Но теперь это была другая вера – христианство, не похожая на все религии древности, – она сохранила в себе и вечный отблеск эллинского гения, и римское представление о силе, несущей добро.

Древняя Греция. Начиная с самого раннего периода железного века и вплоть до классической античной эпохи, т. е. до V в. до н. э., применение железа непрерывно расширялось. Античное товарное хозяйство бурно развивалось, и в городах-государствах Греции начали чеканить первые монеты из благородных металлов. Настала эпоха денег.



Рис. 2.21. Римский акведук в Сеговии, Испания

Поэт Алкей сказал еще примерно за 600 лет до н. э.: «Деньги делают человека! Еще никогда бедный не был достойным и благородным».

Рынки городов были центрами экономической жизни. Здесь встречались производители сельскохозяйственных продуктов и ремесленники. Наряду с местными изделиями на рынках продавали товары из стран Востока, например шерстяные и льняные ткани для одежды и жилищ, кожу и железные изделия, керамическую посуду и украшения, произведения искусства и т. д. Наиболее ценным товаром были рабы, в основном военнопленные. Продавали рабов в больших городах на специальных рынках, куда их привозили со всех краев Земли.

В горном деле применяли железные орудия. Какими бы примитивными ни были кайла, кирки, кувалды, клинья, для их изготовления или восстановления нужны были рабы, хоть что-нибудь понимавшие в обработке железа. Но владевшие таким ремеслом рабы ценились намного дороже обычных, и продавали их на рынке не так уж часто.

Изготовление оружия было хорошо организованным производством в крупных античных городах-государствах. В некоторых оружейных мастерских было занято более ста наемных рабочих и рабов, тогда как в других металлообрабатывающих мастерских насчитывалось в общей сложности не более двадцати. Войны велись практически постоянно, поэтому производство оружия почти не знало спадов. Тем не менее кратковременные периоды мира и заключения мирных договоров неблагоприятно сказывались на развитии оружейного дела, поскольку владельцы мастерских лишались массовых заказов.

Помещение кузницы тех времен, по археологическим данным, было с одной стороны полностью открыто, и поэтому в ней много света.

Оборудование – две печи типа шахтных и несколько открытых кузнечных горнов. В центре на деревянной колоде – большая наковальня, по сторонам – наковальни поменьше. Всюду видны кузнечные мехи. У наковальни работали двое, а третий стоял рядом и рукой подавал знаки (рис. 2.22). Железо клещами удерживал один из работавших, а другой стучал молотом.



Рис. 2.22. Кузница в Древней Греции, рисунок с амфоры

Интересно, что ключи для дверных замков ковали на большой наковальне. Античные замки запирали снаружи натяжением ремня. Чтобы открыть запор, т. е. отодвинуть задвижку, в соответствующее отверстие вставляли ключ, который представлял собой точно входящий в гнездо рычаг. Поскольку запор был надежным только в том случае, если сидел в пазах очень жестко, то открыть его можно было, лишь приложив значительное усилие. Следовательно, эффективность рычага должна была быть очень большой. Отсюда и размеры ключей: как правило, они были длиной не менее полуметра.

В Древней Греции широко применяли бронзу. Время сохранило для нас великолепные бронзовые скульптуры, рожденные много веков назад, – Геракл, Дискобол, Спящий сатир и другие. К сожалению, до нас дошло немного статуй, так как большинство из них еще в древности были переплавлены. Однако мы достаточно хорошо знаем древнегреческую скульптуру классической эпохи по римским мраморным копиям, которых дошло до нашего времени довольно много.

Некоторые статуи из бронзы отличались гигантскими размерами. В начале III в. до н. э. был создан, например, Колосс Родосский – достопримечательность древнего порта на острове Родос в Эгейском море.

Эта 32-метровая статуя бога Солнца Гелиоса, возвышавшаяся у входа в гавань, считалась одним из семи чудес света. К сожалению, грандиозное творение скульптора Хароса просуществовало лишь немногим более полувека: землетрясение разрушило статую, и она была продана как металлолом.

Интересный факт использования металла в качестве металлолома задолго до разрушения Колосса Родосского подтверждает находка, сделанная на дне Средиземного моря вблизи острова Родос. Подводные археологи обнаружили греческое судно, затонувшее почти три тысячелетия назад. Ученых заинтересовал необычный груз судна, направлявшегося сюда с острова Кипр: сложенные отдельными кучками металлические предметы – сломанное оружие, спрессованная ударами молотка бронзовая посуда, домашняя утварь. По-видимому, когда-то они находились в плетеных корзинах, от которых ничего не осталось. А содержимое корзин – не что иное, как предназначенный для переплавки металлолом. Очевидно, древние греки уделяли внимание вопросам использования вторичного сырья цветных металлов.

Древний Рим. К началу новой эры Римская империя простиралась от Евфрата до Дуная и от Северной Африки до берегов Британии. Под управлением Рима находились территории нынешних Франции и Испании, а также Египта и Англии. Понятно, что управлять такой гигантской империей на протяжении длительного времени можно было, лишь обладая не только силой, но и большим умением. Бывали времена, когда Рим находился на грани полной катастрофы, но опасностей удавалось избежать, а из поражений извлекались победы. Однажды кельты захватили Рим, и их предводитель Картаго сделал все, чтобы сломить его могущество. Но этого не случилось. И каждый раз, когда Рим избегал уничтожения, могущество его возрастало.

Одним из важных факторов, позволивших римлянам выходить победителями, был высочайший уровень организованности древнеримского общества. Ярче всего это можно проследить, рассматривая организацию римской армии и историю военных экспедиций римлян.

Многочисленные войска надо было кормить, одевать и снабжать вооружением. Это требовало организации соответствующих производств. Важнейшими были мастерские при императорских арсеналах. Такие «оружейные фабрики» работали на всей громадной территории Римской империи. Многие из них пользовались широкой известностью благодаря высокому качеству получаемых изделий. В частности, Конкордия и Лука в Италии славились коваными стрелами и мечами, а Билбис, Туриассо и Толедо в Испании – всевозможными лезвиями.



Рис. 2.23. Римские пилумы различных конструкций

Чрезвычайно высоким качеством отличались копья, имевшие особую конструкцию и называвшиеся «пилумы» (рис. 2.23). Это метательное оружие состояло из древка и железного стержня, сужающегося по направлению к стальному острию, длина копья доходила до двух метров. Хастати, воины первой линии боевого порядка, во время битвы носили по два таких копья. Перед началом рукопашной схватки хастати бросали копья навстречу противнику. При этом они не стремились попасть в незащищенные части тела, а целились в щит, который у врагов римлян, как правило, состоял из деревянного каркаса, обтянутого кожей, или из плетеных ивовых прутьев. Только центральная часть щита имела железную накладку. Брошенное с большой силой копье вонзалось в щит и прочно застревало в нем. Вытащить его было очень непросто, а во время боя и того сложнее. Тяжелое длинное древко оттягивало руку щитоносца вниз вместе со щитом. Кроме того, тонкий железный стержень копья под тяжестью древка изгибался вниз, а древко упиралось своим концом в землю, затрудняя продвижение щитоносца вперед. Враг становился беззащитным, и римляне уничтожали его мечом.

Таким образом, пилум, несмотря на свою кажущуюся простоту, был весьма эффективным оружием. Его изготовление требовало большого мастерства. Железный стержень должен был глубоко входить в древко. Место перехода от дерева к железу защищали скрепляющей муфтой. Железный стержень отковывали достаточно тонким, чтобы он пружинил, в противном случае стержень не изгибался бы под тяжестью древка. Со стальным наконечником стержень был соединен кузнечной сваркой. Таким образом, два места пилума при его изготовлении требовали особого умения мастера: это места соединения древка со стержнем и стержня с наконечником.

Все работники в таких государственных мастерских (коллегиях), а кроме кузнецов там были плотники, кожевники, тележники, изготовители луков и др., тоже считались на военной службе и подчинялись военному распорядку. Первоначально только легионам были приданы ремесленники, которые в правах и обязанностях приравнялись к воинам. Но с сооружением оружейных фабрик этот порядок распространился и на персонал мастерских. Для кузнецов-оружейников позднее были введены дополнительные правила. Во всяком случае, «фабричные», как называли кузнецов-оружейников, не могли покинуть свою работу до окончания срока службы и, как воинов, их увольняли с почетом и наградами. Став ветеранами, они пользовались теми же правами и привилегиями, что и заслуженные воины. При приеме на службу кузнецов-оружейников клеймили. В кодексе Теодосиана по этому поводу сказано: «Кузнецам-оружейникам на руке выжигается клеймо, то есть видный всем знак того же типа, что и знак, который выжигают рекрутам, чтобы по нему можно было узнать тех, кто уклоняется от кузнечных работ в государственных мастерских, и привлечь к ним укрывающих таковых или их детей, а также тех, кто обманным путем или хитростью поступил на другие работы, чтобы вернуть их по закону».

Государственные оружейные коллегии римлян не были, однако, фабриками в нашем понимании. Это были практически мастерские, в которых трудились сотни ремесленников. Однако в них имелись признаки разделения труда, что было весьма прогрессивно. Производительность труда в подобных мастерских резко повышалась. Одновременно существовали и небольшие мастерские, в которых изготавливали различные изделия для гражданских нужд.

Варвары. На протяжении всей своей истории Древний Рим соседствовал с народами, которых римляне называли варварами. К варварам можно отнести огромное количество народов, как не входивших в состав Римской империи, так и завоеванных Римом на территории современной Испании, Франции, Англии, Центральной и Восточной Европы. Можно выделить несколько основных групп варварских народов, среди которых кельты, жившие на обширных территориях Западной и Центральной Европы, и германские народы, жившие в Центральной, Северной и Восточной Европе.

Организация общества у большинства варварских народов была примерно одинакова, и характеризуется она общинно-родовым строем. Крупных государственных объединений варвары создать не смогли, их наибольшие достижения – это крупные родо-племенные союзы, чаще

всего возникавшие перед угрозой римского вторжения. Несмотря на то что римляне презирали «дикость» варваров, те достигли определенного уровня материальной культуры, связанной с обработкой металлов, и сформировали многочисленные островки оригинальной культуры в различных районах Европы.

Периодически варвары осуществляли нападения на римские провинции или даже на саму метрополию – территорию Центральной Италии и город Рим. Причем в первые века н. э. эти нападения становились все более сильными и продолжительными. Принято считать, что варвары в конце концов и разрушили Древний Рим, хотя, вероятно, его падение связано с культурно-экономическим застоем в империи, приведшим к ее ослаблению. Варвары только довершили дело.

Одним из первых крупнейших грабительских нападений варваров на Рим было нападение кельтов в 390 г. до н. э. Это произошло в период, когда Рим еще не достиг пика своего могущества. Кельтские племена хлынули на Апеннинский полуостров и разгромили противостоящие им римские войска на реке Аллия, левом притоке Тибра, в 40 километрах севернее Рима. После разгрома сорокатысячной армии римлян кельты заняли и разграбили Рим. В руках римлян оставался лишь Капитолий – один из семи холмов, на котором был расположен Сенат и Капитолийский храм.

Ночное нападение кельтов на Капитолийский храм было отбито. Как гласит легенда, защитников вовремя разбудили святые гуси Юноны, которых потревожили нападавшие. Кельты ушли из Рима, взяв большой выкуп – тысячу фунтов золота.

Между племенами варваров часто вспыхивали кровопролитные войны, прямо или косвенно инспирированные римлянами, которые пользовались принципом «разделяй и властвуй».

В экономической жизни основную роль играли земледелие, скотоводство и производство металлов, прежде всего железа. Земледельцы и кузнецы были основными производителями товаров в поселениях варваров.

Развитие обработки металлов можно рассмотреть на примере кельтов. Доведенное до высокой степени мастерства кузнечное ремесло кельтов принесло им известность далеко за пределами мест их обитания (рис. 2.24). Кузнецы у кельтов были одновременно и горняками, и металлургами. Они искали и добывали руду, выплавляли железо и сами затем изготавливали металлический инвентарь и оружие.

Постепенно произошло разделение мастерских по специализации. Это не только привело к резкому подъему производительности, но и позволило намного улучшить качество изделий.



Рис. 2.24. Обратная сторона кельтского бронзового зеркала

Раскопки одного из кельтских горных поселений показали, что железную руду добывали в непосредственной близости к внешнему кольцевому валу, окружавшему поселение. Многочисленные штольни вели внутрь горы. Горны для переработки руды находились внутри первого кольцевого вала и располагались в два ряда. Кроме них были и другие печи; их можно было видеть отдельно стоящими в различных местах вплоть до внутреннего кольцевого вала.

Дома и мастерские ремесленников, занимавшихся одним ремеслом, в поселке располагались тесными группами. Практически существовали улицы отдельных ремесел, как это было позднее в средневековых городах. Так, горшечники жили отдельно от кузнецов, а те, в свою очередь, отдельно от бронзолитейщиков и т. д.

Индивидуальное мастерство обработки железа у кельтских мастеров было чрезвычайно высоким. Например, из производимых тогда изделий широко известны знаменитые длинные кельтские мечи, у которых на мягкий железный стержень наварены стальные лезвия. Твердые стальные лезвия обеспечивали высокую остроту меча, а мягкая сердцевина давала вязкость и предотвращала переламывание меча от удара.

Сталь для «осталивания» инструментов и оружия кельты получали науглероживанием железа в огне древесного угля. Такая технология, при определенных условиях, являлась аналогом современной химико-термической обработки – цементации.

Дело в том, что полученная в сыродутном горне железная крица представляла собой практически чистое железо. Сталь отличается от железа повышенным содержанием углерода. Насытить углеродом крицу целиком – задача трудная и бесполезная, так как ковать стальную крицу было бы весьма затруднительно. А вот насыщать поверхность железных пластин углеродом, «осталивать» их, а затем приварить их на железное основание – это и есть суть технологии кельтских кузнецов. Такой «осталинный» меч поддается термической обработке – закалке, и тогда он не гибается от нескольких ударов. Это было страшное оружие того времени. Таким образом, печная или кузнечная сварка была процессом, известным кельтским кузнецам.

Этот дорогой и длительный процесс получения стали кельтские кузнецы использовали только в редких случаях, когда надо было изготовить оружие особо высокого качества. Конечно, кузнецы того времени ковали не только чудо-мечи, переходившие от отца к сыну и составлявшие наиболее высоко ценимое имущество свободного человека. Мастерские выпускали и «массовую» продукцию – мечи, которые гнулись в бою и вынуждали воинов прерывать его, чтобы выправить оружие. Юлий Цезарь писал, что мечи кельтов были из плохого железа, что после нескольких ударов они сгибались и воин выпрямлял их ногой. Особо ценные мечи не были предметом торговли. Их дарили князьям и королям, они составляли на протяжении многих поколений фамильное достояние. Воины считали такие мечи богатой добычей. Обычное железное оружие было качеством пониже, но обладание им все же было почетным, ибо только свободный человек мог носить меч и копье.

Об уровне развития металлургии железа у варваров свидетельствуют устройства и приспособления для выплавки и обработки железа, обнаруженные при раскопках в современной Швейцарии. Эта культура получила название латенской (по месту раскопок и находок).

Обычные для начала железного века сыродутные горны представляли собой простые углубления – ямы, вырытые на склонах гор, чтобы можно было использовать естественные потоки воздуха (естественную тягу). Позднее были созданы дутьевые мехи. Производительность горнов сразу возросла. Затем у варваров появились невысокие печи типа шахтных. Нельзя думать, однако, что на смену ставшим тогда традиционными сыродутным горнам сразу пришли более производительные печи. Скорее всего, те и другие долгое время сосуществовали. Соседи варваров – римляне – переняли у них искусство получения и обработки железа и стали. Как свидетельствует история, это были способные ученики, так как очень скоро они догнали и даже превзошли своих учителей.

Технологии обработки материалов в античности. Какие же изменения в технологии обработки материалов внесла античность? Изменения были, хотя назвать их принципиальными по сравнению с технологиями Древнего Востока, пожалуй, нельзя.

Характеризуя в целом материалы, применявшиеся в Древних Греции и Риме, можно уверенно сказать, что большая часть из них была хорошо известна на Древнем Востоке. Все сказанное в отношении органических материалов для Древнего Востока можно отнести и к античности. Так, применение дерева, шкур и кож животных, раковин и ро-

гов было широко распространено. Применялся войлок и ткани – как шерстяные, так и хлопчатые. Высочайшего уровня достигла технология обработки глины для изготовления различной посуды. Так, греческий сосуд для вина или масла – пифос – мог достигать высоты в несколько метров! Вопреки распространенному мнению, философ Диоген жил не в бочке, а как раз в глиняном пифосе.

Пожалуй, одной из основных тенденций, характеризующих развитие технологий в античности, являлось все большее распространение металлических изделий и инструментов. В результате каменные и костяные инструменты, которыми наравне с металлическими пользовались на Древнем Востоке, в античные времена практически вышли из употребления у греков и римлян. Варвары продолжали пользоваться такими орудиями до начала Средневековья.

В Древней Греции самое широкое распространение получили изделия из меди и бронзы. Из меди делали защитное вооружение воинов – шлемы, наручи и поножи, окантовки щитов. Эти изделия получали из медных листов, придавая им необходимую форму в холодном состоянии. Нельзя в очередной раз не отметить высочайшее качество, причем как художественное, так и технологическое, медных статуй, изготовление которых получило значительное распространение в классический период Древней Греции (V–IV вв. до н. э.).

Из бронзы, особенно в период архаики, изготавливали различное оружие – мечи, наконечники копий и стрел. Такие изделия получали литьем в открытые каменные или глиняные формы.

С течением времени все большее применение получает железо. Греки использовали железо для разнообразных бытовых изделий, однако следует иметь в виду, что кричное железо достаточно мягко и уступало по твердости бронзе. Поэтому оружие делали из бронзы.

Древние греки существенно расширили сферу использования железных орудий. Железом, например, обивали деревянные лемеха плугов, что позволяло вспахивать более твердые почвы, повышая тем самым объем производимых продуктов питания. Греки перешли только на железные молотки и наковальни при ковке металлов. Это дало мощный стимул к развитию кузнечного ремесла, так как давало возможность изготавливать наковальни удобной формы и применять такие режимыковки, которые каменные наковальни просто бы не выдержали и раскололись.

Уже упоминалось, что греки впервые в Европе внедрили металлические деньги. За внешним интересом к данному факту скрыто внутреннее содержание этого изобретения с точки зрения технологии. Ведь ме-

таллические деньги надо было как-то изготавливать. Для чеканки монет из золота, серебра и меди нужны были специальные железные штампы, имеющие довольно сложную, соответствующую отпечатку на монете, конфигурацию рабочей поверхности.

Чеканка монет в рассматриваемый период основывалась исключительно на ручной технике. Монеты обычно чеканили из заготовок круглой формы (кружки), которые выбивали стальным зубилом или круглым стальным цилиндром с заостренными краями из листового кованого металла. Кружкам придавалась некоторая выпуклость чечевичной формы для получения на монете высокого рельефа рисунка в процессе чеканки (рис. 2.25).



Рис. 2.25. Монета с изображением Афины, Греция, ок. 490 г. до н. э.

Существовал и другой способ изготовления монетных заготовок. Из слитка отковывалась заготовка круглого сечения, от которой отрубались известной толщины кружки. Все они перед чеканкой сглаживались ударами молотка. Точность их массы была приблизительной. Считают, что этот способ применялся при изготовлении дешевой медной монеты, в частности, на монетном дворе в Херсонесе Таврическом (IV–III вв. до н. э.).

Для получения на монете изображения применялись специальные штампы – штемпеля с выгравированными на них углубленными негативными изображениями. Штемпеля представляли собой закаленные стальные матрицы, на рабочих торцах которых нарезались изображения и надписи. Для получения изображения на лицевой и оборотной сторонах монеты применялись верхний и нижний штемпеля. Верхний штемпель, или чекан, имел форму цилиндра, на одном конце которого был нарезан рисунок. Чеканка производилась на массивной подставке с металлическим основанием. Если изготавливали монеты с изображением на одной (лицевой) стороне, заготовку помещали на это основание, на нее накладывали верхний штемпель и наносили по верхней его части сильный удар или серию ударов. Если на монете требовалось изготовить рисунок с лицевой и оборотной стороны, под монетную заготовку подкладывался нижний штемпель и процесс чеканки производился в том же порядке. Обычно для получения хорошего оттиска чеканщику приходилось наносить по верхнему штемпелю несколько сильных уда-

ров (при чеканке меди и ее сплавов). Во избежание смещения монетного кружка относительно нижнего и верхнего штемпелей во время чеканки его придерживали особыми клещами.

Одной из сложнейших операций было изготовление штемпелей, требующих от мастеров большого художественного искусства и умения придавать инструментам высокие эксплуатационные качества путем термической обработки стали.

Таким образом, чеканка металлов – один из древнейших процессов обработки металлов давлением, предъявивший очень высокие эксплуатационные требования к чеканочным штемпелям – инструментам, для производства которых были применены уже за несколько веков до нашей эры достаточно качественные стали, созданы методы их упрочнения и обработки. Четкие, с глубоким рельефом и сложным рисунком изображения на античных монетах свидетельствуют о высоком мастерстве резчиков штемпелей, освоивших в совершенстве обработку сталей. Опыт, накопленный античными чеканщиками, по всей вероятности, использовался и в других областях металлообрабатывающего ремесла. Сосредоточение в руках чеканщиков монеты разнообразных металлургических процессов и технических средств для литья, кузнечной обработки и волочения металлов не только способствовало дальнейшему развитию самой техники чеканки, но и стимулировало развитие связанных с ней смежных производств.



Рис. 2.26. Римский легионер

Период существования Древнего Рима уже целиком пришелся на железный век. Римские легионеры были полностью вооружены железным оружием, которое имело признаки унификации по подразделениям и родам войск. Защиту легионера составлял наборный доспех из железных пластин или даже кольчуга (рис. 2.26), получившая в Риме широкое распространение. Такое широкое применение железа требовало существенного развития его производства и переработки. Развитие технологии выплавки железа из руды привело к полному переходу от малопродуктивного сыродутного процесса к кричному горну. Отличие заключалось в объемах закладываемой шихты и, как следствие, размере готовой крицы. Так, сыродутный процесс велся в ямах, и мощности человеческих легких не хватало, чтобы получить кусок железа больше нескольких килограммов. Кричный горн представлял собой

специальную печь с достаточно большим объемом, с одним или несколькими отверстиями в нижней части для продувки воздухом. Воздух подавался с помощью ручных мехов, что существенно повысило производительность горна по сравнению с сыродутным процессом. При такой технологии можно было за одну плавку получать достаточно крупные крицы с массой в несколько десятков килограммов.

При обработке мелких изделий кузнец выполнял работу самостоятельно, без молотобойцев. Такая организация труда была характерна не только для тончайших работ златокузнецов, но также для ремесленников, занимавшихся производством различных инструментов, холодного оружия и небольших предметов бытового назначения из железа. Рельеф с изображением римского кузнеца II в. до н. э. за работой с набором кузнечных инструментов приведен на рис. 2.27.

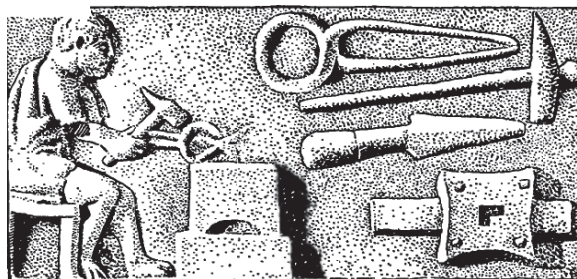


Рис. 2.27. Римский кузнец за работой, II в. до н. э.

Огромное влияние на развитие техникиковки оказало развитие металлургии железа. Процессковки стал неременной составной частью металлургического процесса выделки железа в кричном горне.

Полученное в кричных горнах пористое железо подвергали проковке ручными молотами, придавая крицам определенную товарную форму. Этот металл поступал затем на переработку в передельные кузницы, изготовлявшие из кричного железа необходимые изделия. Передельные кузницы оборудовались кузнечными горнами, в которых поддерживалась более низкая, по сравнению с кричными горнами, температура.

На рис. 2.28 представлена эволюция техникиковки кричного железа. Наиболее простые из показанных здесь способов обработки металла соответствуют рис. 2.28, б и в. Наковальня устанавливалась на уровне пола. Один из кузнецов (рис. 2.28, б) стоит на возвышении и наносит

удар по крице массивным металлическим пестом («колотушкой»), снабженным рукояткой. Пестовый ручной молот совершает прямолинейное движение в вертикальной плоскости. Второй кузнец (рис. 2.28, в) обрабатывает крицу обычным ручником (кувалдой). Именно эти два простейших способа ковки легли в основу развития механических молотов вначале с ручным приводом, а впоследствии с приводом от водяного колеса. Совершенствуя техникуковки, античные ремесленники-металлурги применяли несколько разновидностей пестовых молотов, значительно облегчивших работу кузнецов и сделавших процесс более эффективным. Среди них молоты в виде свободно падающей кузнечной бабы, которая поднималась одним, а чаще несколькими рабочими за веревку, перекинутую через деревянный вал или блок (рис. 2.28, з). Для нанесения рабочего удара веревку отпускали, и баба под действием силы тяжести с большой скоростью опускалась на обрабатываемый металл. Дляковки особо крупных криц или металлических заготовок применялись более тяжелые кузнечные бабы (массой до 50 кг и более), подъем которых осуществлялся веревкой, соединенной с ручным воротом (рис. 2.28, д).

На рис. 2.28, е показана схема устройства рычажного механического молота с ручным приводом. Устройство снабжено наковальной и собственно молотом, насаженным на молотовище. На одном конце качающегося рычага располагается «голова» молота. Другой конец рычага служит рукояткой. Для приведения его в действие кузнец (или подмастерье) нажимает на рукоятку рычага, поднимая таким образом противоположную часть рычага с головой молота в крайнее верхнее положение, и резко отпускает его. В результате молот падает вниз на наковальню, совершая рабочий ход.

Есть сведения, что на территории современной Южной Франции и нескольких других мест во времена поздней империи римляне применяли водяной привод для вращения мукомольных жерновов. Однако однозначных сведений о применении механизированного дутья при плавке железа или применении водяного привода дляковки до нас не дошло. Можно предположить, что где-то такое усовершенствование было произведено, но все же оно не получило распространения, а с падением Рима было окончательно утеряно.

Вероятно, в начале нашей эры греки и римляне переняли у варваров технологию науглероживания железных изделий в открытом горне. Стальное оружие обладало значительно большей эффективностью, поэтому распространение такой технологии было вполне предсказуемо.

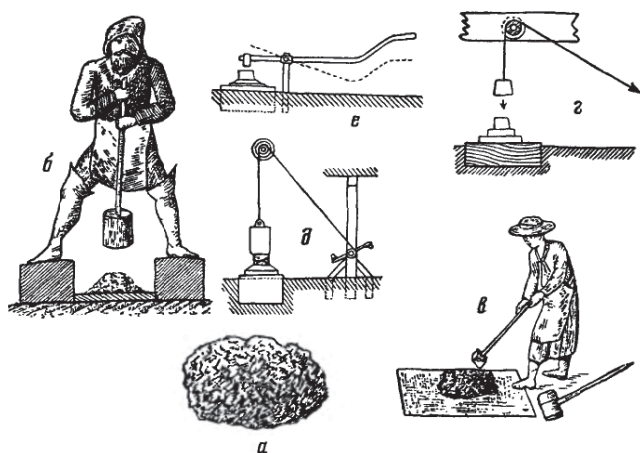


Рис. 2.28. Принципиальные схемы способов и технических устройств для обработки металлов ковкой в период античности: *а* – крица; *б* – ковка ручным пестовым молотом; *в* – ковка ручником; *г* – кузнечная баба с канатом; *д* – кузнечная баба с воротом; *е* – простейший рычажный молот с рукояткой

Наряду с оружием и предметами быта древние греки и римляне большое внимание уделяли и ювелирному производству, они выделяли тканые и шитые золотом одежды и покрывала. Золотые нити и проволоку получали волочением. Интересные сведения, свидетельствующие о широком распространении проволочных изделий в Древней Греции, мы находим у Гомера, описавшего, в частности, обычаи богатых граждан носить одежды, вышитые золотом. Златотканые одежды были широко распространены у римлян особенно во времена империи, что подтверждается свидетельством Плиния в его «Естественной истории».

Огромным шагом вперед в развитии техники волочения было использование более эффективного железного (стального) волочильного инструмента. По сравнению с каменной железная волока имеет значительные преимущества: можно повысить ее твердость и прочность на истирание, подвергнув металл механическому упрочнению наклепом. Трудоемкую операцию сверления отверстия можно заменить двухоперационной обработкой: пробивкой отверстия в изделии, находящемся в горячем состоянии, с последующей менее трудоемкой работой – выравниванием отверстия рассверливанием и полировкой (шлифовкой).

Кроме того, разработавшееся волочильное отверстие (фильеру) железной волоки легко подправить до первоначального диаметра неоднократной холодной налепкой вокруг его контура.

Волоченная проволока применялась не только для украшений и предметов роскоши. Представляют интерес находки совершенно новой для того времени проволочной продукции – проволочных тросов. Два из известных нам ранних образцов бронзовых тросов относятся к VIII в. до н. э. и I в. н. э. Первый найден в Ниневии (Ассирия), второй – в Помпее, разрушенной при извержении Везувия в 79 г. Трос из Помпеи, диаметром около 25 мм, состоит из трех пучков, каждый из которых скручен из 15 проволок. Длина троса около 4,6 м. Появление проволочных тросов свидетельствует о расширении сферы потребления проволоки, т. е. об ее использовании и в технике. По всей вероятности, тросы применялись в строительных работах для поднятия или перемещения тяжестей.

Металлорежущие станки по своей конструкции являются преемниками механизмов, предназначенных для производства изделий из древесины, камня и кости, широко применявшихся в античности. Первые устройства для получения поверхностей вращения нельзя отнести к какой-либо группе станков (токарной, сверлильной, шлифовальной) в современном представлении. Эти устройства были элементарно просты и универсальны. Путем усовершенствования на протяжении тысячелетий они превратились в станки. Токарный станок является наиболее старым. Он играл ведущую роль среди устройств для резания материалов. Значение станков токарной группы сохраняется и в современном машиностроении, несмотря на то что многие виды работ выполняются в настоящее время другими станками.

Известен каменный рельеф, относящийся к эллинистической эпохе Египта (III в. до н. э.), на котором можно впервые увидеть токарный станок. Он имел две стойки с центрами, между которыми находилась обрабатываемая деталь. Ее закрепление осуществлялось связыванием концов стоек, далеко выступавших за линию центров. На обрабатываемую деталь набрасывался шнурок, перетягиванием которого обеспечивалось вращение. Один человек вращал деталь, а другой подставлял резец и снимал слой материала.

Древние авторы неоднократно упоминали о токарном станке. Витрувий, написавший сочинение «Об архитектуре» приблизительно в 13–16 гг. до н. э., упоминает о роликах (явившихся частями осадной машины), выточенных на токарном станке, а также о других точеных деталях. В том же сочинении Витрувия содержатся и другие упоминания о токарном станке.

Важно заметить, что сам Витрувий считал токарный станок устройством общеизвестным, а потому даже не требующим специального описания.

Первое сведение о гайке, выточенной на токарном станке, относится к 362 г. н. э. Изготовление токарных изделий из древесины, рога, кости и алебаstra у римлян было поставлено настолько широко, что возник специальный термин для обозначения токарного станка – *tornus* и токаря – *tornator*. Эти термины перешли затем в романские языки.

На протяжении тысячелетий токарный станок являлся универсальным устройством для формообразования изделий и получения круглых отверстий в тех случаях, когда желательна или необходима была их правильность. Последняя могла быть обеспечена только при вращательном движении изделия или инструмента.

На рис. 2.29 изображен древний токарный станок, реконструированный по сохранившимся изображениям и этнографическим материалам. Вращение заготовки (*б*), зажатой между центрами (*а-а*), достигалось с помощью возвратно-поступательных движений лучка (*с*), который токарь держал в левой руке. Правой рукой он держал режущий инструмент. Тетива лучка сначала просто скользила по заготовке. Позже тетиву начали обводить один-два раза вокруг заготовки, чтобы сделать вращение более равномерным и увеличить крутящий момент.

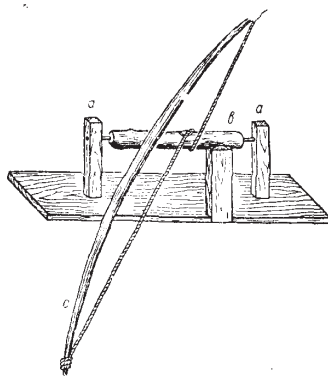


Рис. 2.29. Древний токарный станок с ручным лучковым приводом

В завершение обзора технологий, применявшихся в период античности, необходимо упомянуть, пожалуй, главное нововведение римлян в организацию технологических процессов. Греческие кузнецы были одиночными мастерами, ведущими полный производственный цикл от добычи руды до продажи готовых изделий. Римская четкая организация армии, причем не только в военных условиях, но и в обстоятельствах мирной гарнизонной службы, потребовала хорошо налаженного снабжения. Кроме снабжения материалами для строительства (а оно было беспрецедентным, так, римляне покрыли сеть дорог всю территорию империи, причем некоторые из этих дорог используются до сих пор!), снабжения продуктами питания необходимо было организовать снабжение различными металлическими изделиями.

Для решения этой задачи римляне впервые в древней истории для производства и ремонта оружия, доспехов и инструментов хозяйственного назначения организовали государственные ремесленные мастерские (коллегии). Их принципиальное отличие от частных производителей заключалось в широком внедрении разделения труда. Так, добычей руды занимались одни люди, плавкой железа – другие, производством оружия или его ремонтом – третьи. Высокий государственный статус таких производств подтверждали специальные законы, приравнивающие рабочих таких производств к воинам-легионерам.

Конечно, в технологическом плане производство на подобных «фабриках» оставалось кустарным. Применялись те же технологии плавки металла и его преобразования в изделия, что и в частных ремесленных мастерских (которые тоже существовали). Однако лучшая организация процесса позволила значительно повысить производительность труда римских коллегий, что в итоге позволило сделать железные инструменты и оружие более доступным, по крайней мере, в армии.

Высокий уровень металлообработки в Греции и Римской империи оказал влияние на соседние страны Западной Европы. Во второй половине I тыс. н. э. в Западной Европе, вступившей на путь феодального развития, образовались новые районы высокоразвитого металлообрабатывающего и ювелирного производства.

Научная культура античности. Раскрытие темы античности невозможно без понимания того, что называют «античной наукой» не только в античные времена, но и во всем последующем развитии, вплоть до современности. В определенной мере можно говорить, что «античная наука» – это «детство» современной науки. Ключевые научные понятия, сам язык науки, важнейшие научные проблемы да и, собственно, новая – научная – культура мысли – все из античности.

То, что мы называем наукой, никогда не было в античности самостоятельным явлением: по преимуществу наука была частью философии.

Наука становится наукой, когда ее начинают рассматривать как род деятельности по приобретению новых знаний. Для такой деятельности необходимы определенные условия: специальная категория людей, средства для ее осуществления и достаточно развитые способы фиксации знаний. Особенностью науки является ее теоретичность, стремление к знанию ради самого знания. Рациональный характер науки прежде всего выражается в доказательности ее положений и наличии специальных методов приобретения и проверки знаний. Свойством

науки является систематичность (системность) научных знаний как по предметному полю, так по фазам: от гипотезы до обоснованной теории. Исходя из изложенных признаков, развитие науки в античности можно разделить на несколько периодов.

Первый период – период ранней греческой науки – «о природе». Эта «наука» была нерасчлененной, спекулятивной дисциплиной, основной проблемой которой была проблема происхождения и устройства мира, рассматривавшегося как единое целое. До конца V в. до н. э. наука была неотделима от философии. Высшей точкой развития и в то же время завершающей стадией науки «о природе» была всеобъемлющая научно-философская система Аристотеля.

Второй период – эллинистические науки. Это период дифференциации наук. Процесс дисциплинарного дробления «единой науки» начался еще в V в. до н. э., когда одновременно с разработкой метода дедукции произошло обособление математики. Работами Евдокса было положено начало научной астрономии. В трудах Аристотеля и его учеников уже можно усмотреть появление логики, зоологии, эмбриологии, психологии, ботаники, минералогии, географии, музыкальной акустики, не считая гуманитарных дисциплин, таких как этика, поэтика и другие, которые никогда не были частью науки «о природе». Позже приобретают самостоятельное значение новые дисциплины – геометрическая оптика (в частности, катоптрика, т. е. наука о зеркалах), механика (статика и ее приложения), гидростатика. Расцвет эллинистической науки был одной из форм расцвета эллинистической культуры в целом, и обусловлен он творческими достижениями таких великих ученых, как Евклид, Архимед, Эратосфен, Аполлоний Пергский, Гиппарх и др. Именно тогда, в III–II вв. до н. э., античная наука по своему духу и своим устремлениям ближе всего подошла к науке Нового времени.

Третий период – период постепенного упадка античной науки. Хотя к этому времени относятся работы Птолемея, Диофена, Галена и др., но все же в первые века нашей эры наблюдается усиление регрессивных тенденций, связанных с ростом иррационализма, появлением оккультных дисциплин, возрождением попыток объединения науки и философии. Определенную роль, по-видимому, сыграло и получившее позже широкое распространение христианство.

Важным фактором, определяющим и концептуальную, и идеологическую модели в античности, была мифология – мощная, сложная, логически внутренне безупречная, поэтически совершенная. В ее рамках строилась модель мира, описывалась его история, будущее, смысл

и направление деятельности людей. Становятся понятными особенности новой «научной» культуры мышления, которая в античности возникла и развивалась внутри мифологической. Само понятие «природа» (греческое «фюсис», откуда потом появились физика и физиология) – довольно многозначное у различных авторов, и воспринималось оно как нечто изначально причинное.

Четыре дисциплины, названные впоследствии Бозэцием квадриум, были основой обучения свободных людей. Арифметика (число само по себе); геометрия (число на плоскости); музыка (число в звуке); астрономия (число в Космосе, в проявленном мире вещей). Система математического знания была иерархически строго организована. Арифметика – высшее; астрономия – низшее. Путь изучения: от наблюдения за миром астрономии – к постижению творящего числа (и никак не наоборот).

Воздействие египетской и ближневосточной цивилизаций на примитивную культуру архаической Греции было многоплановым. Существует немало конкретных примеров заимствования в отдельных областях знания. Но, несмотря на заимствования, такое явление, как «греческое чудо», несопоставимо с восточными цивилизациями. Греческая культура не только не стала слепо копировать достижения древних цивилизаций, но создала новую – научную – культуру. Ввела в практику новый тип мышления – научный. Реализовала новый принцип образования – социокультурной трансляции знаний в светскую школу.

Все это и дает основание говорить об уникальном значении греческой цивилизации. Она «нарушила монополию» сакрального знания, начав вводить вместо традиции знания как посвящения, откровения, постижения, традицию знания как размышления, исследования, научения.

Новое, добытое греческой цивилизацией научное знание – заслуга античных мыслителей не в количественном приращении научного знания, а в принципиально ином его понимании и, соответственно, ином его получении, представлении и развитии.

2.4. Общественная жизнь и технологии Средневековья

Рим пал в V в. н. э., когда обычные грабительские набеги варваров, преследовавших одну цель – наживу, сопровождавшие практически всю историю Древнего Рима, сменились настоящим вторжением, вызванным Великим переселением народов.

Из глубин Евразии на Рим и хорошо знакомых римлянам соседям – варваров накатились могучие волны гуннов. Историки до сих пор спорят, какова была причина Великого переселения народов, самая вероятная версия – это изменения климата в Евразии, следствием чего стало превращение тучных степей в полупустыни и пустыни. Огромные массы народа начали движение с территорий современных Монголии, Бурятии, юга Красноярского края, Алтая, Киргизии и Казахстана в различных направлениях. Часть двинулась на восток, в Китай, часть – на юг и дошла до Индии. Но большая часть кочевников направилась на запад. По дороге они захватывали местные народы, ассимилировали их и присоединяли к себе. Так за несколько десятилетий волна переселенцев докатилась до границ Рима.

Для империи возникновение нового сильного противника оказалось слишком серьезной проблемой, обострившей и без того не блестящие дела в Риме. Восточная часть империи – Византия – подверглась меньшему давлению вновь прибывших народов, и экономическое состояние востока было несколько лучше, чем западного Рима. Поэтому Византия смогла сдержать удар и благополучно просуществовала еще тысячу лет. Западная часть империи оказалась не способной противостоять многочисленным нападениям своих бывших соседей и вновь прибывших гуннов.

В 476 г. влиятельный германский военачальник Одоакр, нанятый с войском для защиты Рима, низложил последнего римского императора Ромула. Одоакр сохранил императору жизнь и даже обеспечил его содержание на одной из вилл. Самого же Одоакра признали императором. Поэтому 23 августа 476 г. считается датой падения Западной Римской империи и концом античного мира. Начался новый этап истории – Средние века, а на руинах части Римской империи создавались новые государства: вестготов, бургундов, франков, алеманов, остготов и вандалов. Каждое из них имело свою историю.

Какие изменения происходили в жизни бывших римских граждан, рабов, наемников и варваров, оставшихся жить на обломках Римской империи?

Для простого народа экономическая ситуация изменилась мало. Зависимые крестьяне, рабы смешались с бедными слоями приехавших варваров и продолжали заниматься сельским хозяйством под руководством новых повелителей. Римская знать стала служить варварским королям, которых еще недавно презирала. Те высоко ценили знания и управленческие умения новых подданных и охотно раздавали высо-

кие должности, наделяя их землями и рабами. Дети и внуки варваров, не понимавших античных городов, сами стали строить крепости, замки и города, перенимая новые черты у старой римской аристократии. Таким образом, варвары переставали быть варварами. Вскоре аристократия новых государств сформирует особый класс людей – рыцарей, профессиональных воинов, с определенными представлениями о чести и праве (рис. 2.30).



Рис. 2.30. Рыцарский замок в Рочестере, Англия, X–XII в.

Через все Средневековье красной линией прошли идеи христианства. Христианство оказало огромное влияние на все сферы жизни людей, начиная от юриспруденции и заканчивая культурой и наукой Средневековья. Монастыри были и центрами культуры, где хранились различные книги, и центрами экономической жизни, особенно в раннем Средневековье. Затем роль экономических центров перехватили города, которые смогли оторваться от феодальных опекунов и добиться существенной автономии.

Травма, нанесенная сознанию средневековых людей крушением Рима, оказалась такой тяжелой, что полностью изменила представления людей о культуре. Средневековье отказалось от стремления к «распространению» культуры, свойственного античности. Оно предпочло мысленно, метафизически, «запечатать» мир и сохранять его культурные границы неизменными. Хорошим, надежным стало считаться то, что уже было сделано когда-то раньше. Слово «новшество» для средневекового человека было синонимом чего-то недостойного и опасного. Это в полной мере коснулось и технологического развития. На протяжении столетий не изобреталось ничего нового, использовалось хорошо из-

вестное и испытанное. Для каких-либо изменений в технологии в раннем Средневековье требовались столетия. По мере развития человеческого общества, создания городов, формирования абсолютизма и, что особенно важно, изобретения огнестрельного оружия технологическое развитие пошло более быстрыми темпами.

Средневековый городской житель. Основные изменения в технологиях концентрировались в городах, поэтому средневековый городской житель – бюргер (наравне с рыцарем, монахом и крестьянином) – одно из главных действующих лиц средневековой истории.

Раннее Средневековье было аграрной (сельскохозяйственной) эпохой. Большинство старых античных городов были разрушены и владели жалкое существование. Однако в X–XI вв. в Западной Европе произошли важные изменения. Из среды крестьян, в свободное время мастеривших нужные им вещи – одежду, орудия труда, кухонную утварь, выделились умельцы, сделавшие ремесло своим главным занятием и оставившие крестьянский труд.

Постепенно ремесло отделилось от земледелия и стало занятием особой группы людей – ремесленников. Недовольные высоким оброком, которого требовал феодал, мастерские люди убегали из поместий, бродили, а затем основывали поселения на перекрестках дорог, у речных переправ и вблизи удобных морских гаваней. Новые жилища строились у стен больших монастырей и замков знатных феодалов, среди развалин римских крепостей. Здесь всегда можно было купить ремесленные изделия. Сюда приезжали, а вскоре и стали жить здесь купцы. Именно в эти поселения спешили крестьяне из окрестных деревень, чтобы продать продукты сельского хозяйства и купить нужные вещи. Потомки обитателей этих поселений – зависимых крестьян и деревенских ремесленников, бежавших или переселившихся по соглашению со своими господами в город, рождающийся на их глазах, – и были первыми бюргерами.

Города росли как центры ремесла и торговли. Уже в XI в. возродились древние и возникли новые города в Италии и на юге Франции. В Германии образовалось много городов по берегам больших судоходных рек – Рейна и Дуная. Появились города и в других странах Западной и Центральной Европы. Возникнув на земле феодалов и церкви, средневековые города оказались под их властью. Сеньоры требовали от горожан многочисленных пошлин: за проход в город, за провоз товаров, за право строить дома, за право торговать. Сеньор вершил суд над горожанами, мог призвать их к себе на службу в городское ополчение. Поэтому первое время бюргеры были бесправны, как и сельские жители.

Но в городах быстрее, чем в деревнях, рос дух независимости. Ведь средневековый ремесленник был владельцем собственной мастерской и созданной им продукции. Горожане не так сильно, как крестьяне, были связаны с землей. Наконец, у многих из них были деньги – мощная сила, часто не уступавшая в эффективности мечу.

В X–XIII вв. развернулась отчаянная борьба горожан против сеньоров за независимость, за право на самоуправление. Феодалы крепко держались за свои владения, приносившие им доходы, но все же вынуждены были смириться с выходом городов из их подчинения.

В борьбе с феодалами города окрепли, а городское сословие (бюргерство) превратилось в значительную общественную силу. Ремесленники объединились в цехи, а купцы – в гильдии. Городская община (коммуна) избирала городской совет для управления городом. Члены этой общины обрели личную свободу и связанные с ней привилегии – быть подсудными только городскому суду, распоряжаться городским имуществом. Свободный дух города притягивал, как магнит. Сюда бежали зависимые крестьяне со всей округи. Обычно, прожив в городе один год и один день, бывшие крепостные получали свободу и становились полноправными бюргерами. Видимо, эти счастливчики и сложили известную средневековую поговорку: «Городской воздух делает свободным».

После освобождения от власти феодалов в городах на первый план вышло имущественное неравенство. Хотя борьбу с сеньорами вели все горожане, полностью воспользовалась ее результатами лишь городская верхушка – патрициат. В него входили представители самых богатых городских родов – купцы, ростовщики, владельцы крупных строений. Они верховодили в городских советах и вершили власть, опираясь на свое богатство, в собственных интересах. Нужды простых горожан не учитывались, и им жилось почти так же несладко, как и при феодалах. Бюргеры, не входящие в состав патрициата и закаленные опытом предыдущей борьбы с сеньорами, с оружием в руках выступали против городских патрициев. В борьбе за власть и равноправие в городе участвовали и притесняемые цеховыми мастерами подмастерья, недовольные своими хозяевами. Городская жизнь бурлила: одни бюргеры богатели, процветали, занимали важные посты в городском управлении, другие беднели, разорялись, попадали на обочину жизни.

Одновременно с патрициатом на другом полюсе городской жизни сложилась группа населения, состоявшая из неудачливых подмастерьев, поденщиков, нищих, которая называлась плебейством. Место между

патрициатом и плебейством занимали средние слои городского населения – объединенные в цехи ремесленники, мелкие и средние торговцы. В результате слово «бюргерство» стали употреблять не только в широком смысле – «все горожане», но и в узком – «средние слои городского населения».

В Англии и Франции бюргеры сыграли важную роль в политическом объединении страны, а в Германии, где такого объединения не произошло, сила и значение бюргерства выразились в создании влиятельных союзов торговых городов. Самым знаменитым из них была так называемая Ганза (торговый и политический союз), объединившая купцов более 70 немецких городов и взявшая в свои руки всю международную торговлю на севере Европы.

Постоянная борьба за свои права закаляла бюргеров, укрепляла в них чувство собственного достоинства. Крепкие стены и башни защищали их от недругов. Бюргеры ревностно отстаивали свои права и уверенно смотрели в будущее. У них был трезвый практический ум, они ощущали созидательную силу труда, особенно ценили человеческую смекалку. Бюргеры любили тот пестрый будничный мир, который окружал их повседневно и полноправными хозяевами которого они были. Не рыцарские замки с их тяжелым великолепием, не угрюмые монастыри, но городской рынок, ремесленная мастерская, скромный и опрятный домик, купеческий корабль, цеховой погребок были их привычной средой. Здесь протекала их жизнь в борьбе, труде, а подчас и в шумном веселье. Всем этим суконщикам, бочарам и сапожникам, создавшим величие средневековых городов, не было решительно никакого дела до изысканного придворного этикета.

Дети бюргеров с раннего возраста приобщались к миру взрослых, помогали родителям. Бюргерские занятия требовали специальных знаний, получить которые можно было лишь в школе. К XV в. были открыты бюргерские школы, доступные детям всех граждан. Дети поступали в школу с 6–7 лет, мальчики и девочки обучались совместно. Дети бюргеров учились читать, писать, составлять деловые бумаги, занимались арифметикой; особое внимание уделялось изучению мер и весов, монет различного достоинства. Экзаменов не было; каждый учился столько, сколько считал нужным. Посидев на занятиях, дети спешили в лавки и мастерские родителей. Учителя также в основном были из бюргеров.

На исходе Средних веков бюргерство переживало далеко не лучшие времена. Уходили в прошлое старые городские порядки, менялся привычный уклад жизни. В торговле и производстве верховодили новые

энергичные и предприимчивые люди. Часть бюргеров смогла приспособиться к новым веяниям и примкнуть к этим людям, войти в нарождающийся класс буржуазии. Многие разорялись, становились наемными работниками. Другие еще долго (в Германии вплоть до XIX в.) продолжали цепляться за старые городские обычаи, надеяться на возврат былых славных времен. Эта группа городского населения отвергала все новое, препятствуя преобразованиям. Вероятно, поэтому в современном обиходе слово «бюргер» приобрело еще одно значение. Так могут называть человека, боящегося перемен, мещанина, обывателя. Но это переносное значение не должно заслонить от нас образ другого бюргера, сыгравшего важную роль в развитии общества в средневековую эпоху.

Цеховая организация ремесленного производства. В Средневековье цехами называли союз ремесленников одной или родственных специальностей. Средневековые города рождались и росли как центры ремесла и торговли. Становление городов сопровождалось для горожан-ремесленников множеством трудностей и опасностей. Нужно было бороться с феодалами, на землях которых возникли города. Ни один из этих сеньоров и не помышлял о вольностях для свободолюбивых бюргеров. Лишь объединение сил позволило дать отпор нападкам феодалов и их наместников. Такое объединение было необходимо и для защиты городских ремесленников от конкуренции со стороны их коллег из соседних деревень и городов. Долгое время покупателей ремесленных изделий было мало. Привлечь покупателя или заказчика считалось большой удачей. Из-за этого соперничали городские и сельские мастера. Союз ремесленников мог не только прогнать чужаков с городского рынка, он гарантировал высокое качество изделия – главный козырь в борьбе с соперниками.

Первые цехи появились почти одновременно с самими городами: в Италии – уже в X в. (здесь они частично унаследовали традиции древнеримских ремесленных коллегий), во Франции, Англии, Германии – с XI – начала XII в. Среди ранних цехов известен, например, парижский цех свечников, возникший в 1061 г. Больше всего в Средние века было цехов, занимавшихся производством пищевых продуктов: цехи булочников, мельников, пивоваров, мясников и т. п. Много цехов занималось изготовлением одежды и обуви: цехи портных, скорняков, сапожников. Важную роль играли и цехи, связанные с обработкой металлов и дерева: цехи кузнецов, столяров, плотников и т. п. Известно, что в союзы объединялись не только ремесленники, существовали цехи городских врачей, нотариусов, жонглеров, учителей, садовников, могильщиков.

Схожие объединения – гильдии – создавали купцы, а в Англии гильдиями назывались и собственно цехи.

Полноправными членами цехов были только мастера, работавшие в собственных мастерских вместе с помогавшими им подмастерьями и учениками. Главным органом управления цеха было общее собрание мастеров. Оно принимало устав (статут) цеха и избирало старшин, которые и следили за соблюдением цеховых порядков. Именно цеховые уставы позволяют узнать многое об устройстве и жизни цехов. Цеховые правила отличались особой строгостью. Они были направлены на поддержание высочайшего качества изделий. С этой целью запрещалось использовать недоброкачественное сырье. Например, в шелкоткацких цехах не допускалось употребление шелка-сырца, в котором имелись узлы, так как из него получалась ткань низкого качества. Запрет был наложен и на использование растительной краски – вайды, которую в Средние века называли дявольской. Ремесленник, выпустивший плохое изделие, позорил весь цех, поэтому его строго наказывали. Самым обыденным наказанием были штрафы, которые шли в кассу цеха. В Лондоне пекаря, продавшего булку неполного веса, могли посадить в клетку и возить по городу для всеобщего осмеяния.

Другой важной заботой цехов было поддержание равенства их членов. Для того чтобы одни мастера не обогащались за счет других, цеховые правила закрепляли одинаковые для всех мастеров условия в производстве и продаже изделий. Каждый цех устанавливал для своих членов размеры мастерской, количество размещенных в ней приспособлений и станков, число работающих подмастерьев и учеников. Цеховой устав определял объем материала, который мастер имел право приобрести для своей мастерской (например, сколько кусков ткани мог закупить портной). В некоторых цехах, производство которых нуждалось в дорогом или редком привозном материале, сырье закупалось коллективно и поровну распределялось между членами союза. Мастерам запрещалось переманивать друг у друга подмастерьев и сманивать заказчиков. Во многих цехах мастерам не разрешалось даже выбегать на улицу и зазывать заказчиков и покупателей к себе в мастерскую. Выставка в окне мастерской не должна была быть слишком высокой и пышной, чтобы не затмевать витрины соседей. Цеховые правила учитывали семейное положение мастера. Холостой ремесленник не мог брать столько же работы, сколько семейные мастера, которые должны были содержать жену и детей, так как холостяк мог отбить у них клиентов. Многие цехи имели общие склады, мельницы, красильни и т. п. Чужие, внецеховые

ремесленники безжалостно изгонялись с городских рынков. А в Германии даже существовало так называемое право заповедной мили. В соответствии с ним город запрещал на определенном расстоянии от своих стен заниматься некоторыми ремеслами. Сельские мастера лишались возможности соперничать с городскими.

По мере развития средневекового города число цехов росло. К середине XIV в. в Париже, например, было уже около 350 ремесленных цехов, в Лондоне – 60, в Кельне – 50. Цехи дробились. Чем уже была специализация мастера, тем большего совершенства достигал он в своем ремесле. Сапожное дело разделилось на несколько цехов, выпускавших разные виды обуви. Среди кузнецов в отдельные цехи выделились мастера, ковавшие подковы и лемеха плугов, и ремесленники, ковавшие мечи; особый цех составили ножовщики. Некоторые цехи ограничились изготовлением одного-единственного изделия: цехи кошелечников, перчаточников, седельщиков. Особые цехи образовали портные, шьющие новую одежду, и портные, занимающиеся починкой старой.

Цех объединял бюргеров не только в труде, но и в других областях жизни. Он участвовал в охране города и выставлял свой отряд в городское ополчение. Каждый цех имел своего покровителя – святого, а часто и свою церковь или часовню. Цех осуществлял взаимопомощь, помогал нуждавшимся мастерам и их семьям в случае болезни или смерти кормильца.

К XIV–XV вв. цехи достигли наивысшего расцвета. Перед этим цеховым мастерам пришлось выдержать нелегкую борьбу за доступ к городскому управлению. После высвобождения городов из подчинения феодалам власть в них захватил патрициат, игнорирующий интересы рядовых бюргеров. Цехи, значительно окрепшие к этому времени, поднимали вооруженные восстания против городской верхушки. Борьба шла с переменным успехом. В одних городах, где ремесленное производство получило большое развитие, победили цехи (Кельн, Базель, Флоренция и пр.). В других, где ведущую роль играли широкомасштабная торговля и купечество, победителем из борьбы вышел городской патрициат (Гамбург, Любек, Росток и другие города Ганзейского союза). Известны случаи, когда это противостояние, которое иногда называют «цеховыми революциями», завершалось полуборными соглашениями между городской верхушкой и наиболее влиятельными цехами. А такие цехи, отличающиеся силой и богатством, выделялись во всех крупных городах. Наряду с ними существовали и более бедные «младшие» цехи. Ведь не мог союз кожевников, заказчиками которого были простые кре-

стьяне и скромные горожане, сравниться с цехом ювелиров, имеющим дело с дорогими металлами и драгоценными камнями, обслуживающим состоятельных феодалов и городских патрициев.

В первые века существования цехов ремесленник-мастер, его подмастерья и ученики совместно трудились и одинаково дорожили честью своего цеха. Прилежный ученик со временем мог стать подмастерьем, а способный подмастерье мог получить звание мастера. Постепенно положение их ухудшалось. Безотрадной была доля ученика-подростка. Мастер не торопился обучить его секретам своего ремесла. Первые несколько лет ученичества мальчика не допускали ни к каким ремесленным работам. Он убирал помещение, чистил платье и обувь хозяина и членов его семьи, был на побегушках, безропотно исполнял все поручения мастера и его жены, угождая им исполнительностью и беспрекословным послушанием. Постепенно ученика начинали допускать к работе в мастерской, сначала доверяя самые простые вспомогательные работы, а позднее приучая к более трудному делу. Ученики должны были безропотно сносить крутой нрав и сварливость хозяев. Не случайно договоры о найме учеников учитывали возможность бегства или гибели мальчика в доме мастера. Беглый ученик чаще всего был обязан вернуться к прежнему хозяину, чтобы отбыть весь срок своего ученичества. В последний день ученик получал от мастера удостоверение, свидетельствующее о том, что отныне он может стать подмастерьем и получать от мастера вознаграждение за свою работу.

Ближайшими помощниками мастера были подмастерья. Их рабочий день часто продолжался от восхода и до заката солнца. В уставе Любекского янтарного цеха он был определен в пятнадцать часов летом и четырнадцать часов зимой. Кельнские мастера-оружейники были обязаны работать с пяти часов утра до девяти часов вечера. Плата, получаемая подмастерьями, была невелика.

Подмастерьям-кожевникам города Амьена в 1349 г. была установлена ничтожная оплата в размере трех су; подмастерья, не подчинившиеся этому постановлению, подвергались строгому наказанию. Но подмастерье был готов переносить все трудности и невзгоды, пока его согревала мысль о тех временах, когда он подкопит денег и, сдав экзамен, заведет собственное дело или, если повезет, женится на дочери хозяина и унаследует его мастерскую. Сотни юношей-крестьян, придя в город, становились подмастерьями; эта армия росла год от года, и каждый подмастерье надеялся стать мастером. Старшины цеха с тревогой наблюдали за этим. Мастера боялись, что доход станет ничтожным, если

их число сильно возрастет. Поэтому доступ новых людей в цех всячески преграждался – цех «замыкался». Присвоение звания мастера обростало все более строгими условиями. Нужно было получить отличную характеристику от своего мастера по итогам обучения, уплатить крупный вступительный взнос в кассу цеха и изготовить образцовое изделие – так называемый шедевр.

Но если когда-то изготовление шедевра было простой формальностью (канатчик должен был изготовить хорошую веревку, сапожник – сшить три башмака), то теперь оно превратилось почти в непреодолимое препятствие, потому что предмет должен быть дорогим, а работа по его изготовлению оказывалась чрезвычайно трудоемкой. Не случайно впоследствии шедеврами стали называться выдающиеся произведения искусства. Но даже всего этого было недостаточно. Требовалось еще устроить пирушку для многочисленных членов цеха. Звание мастера становилось недоступным для подавляющего большинства подмастерьев. Лишь сыновья и зятья мастеров получали заветный статус. Права подмастерьев ограничивались. Например, в немецких городах подмастерьям запрещено было посещать танцы, на которых могли присутствовать жены мастеров, возвращаться позже девяти часов вечера зимой и десяти – летом, носить серебряные украшения. В городах появилось множество так называемых «вечных подмастерьев», которые не могли стать мастерами.

«Вечные подмастерья», недовольные хозяевами, стали чаще покидать своих мастеров, менять место работы, перебираться из города в город. Для того чтобы совместно бороться за улучшение условий труда, подмастерья объединялись в свои собственные союзы – братства. Во многих городах такие союзы запрещались. В ответ на это подмастерья соседних городов объединялись и могли объявить забастовку. Подмастерья города Виньштедта обратились в 1470 г. с письмом к подмастерьям Страсбурга с призывом прекратить работу, пока мастера не согласятся соблюдать старые обычаи. «Мы, подмастерья, должны крепко держаться друг за друга, ибо мастера других городов поддерживают страсбургских мастеров», – писали виньштедтские подмастерья.

Разделение цехов на «большие» и «малые», неравенство между подмастерьями внутри одного союза, «замыкание» цехов, образование братств подмастерьев – все это было проявлением разложения цеховой системы организации производства. Уходили в прошлое времена, когда цехи способствовали развитию ремесла, появлению новых специальностей, выпуску хороших и разных изделий. Несомненно, цех был важным завоеванием Средневековья, цеховая организация ремесла была

значительным шагом вперед в совершенствовании производства. Но в последние столетия Средних веков, запрещая всякие новшества и изобретения, цехи стали тормозить развитие. На смену им шла мануфактура с ее разделением труда и новым уровнем техники. Впереди была фабричная эпоха, когда слово «цех» приобрело новый смысл. Так стали называть отделения фабрик и заводов.

Средневековая металлургия. Во второй половине первого тысячелетия лидерство в политической жизни Европы принадлежало викингам, государствам, располагавшимся в Альпийском регионе, и франкам. Рассмотрев историю Древнего мира, мы уже знаем, что политическое лидерство, начиная с древнейших времен, во многом базировалось на металлургическом фундаменте. В раннем Средневековье сама природа способствовала развитию технологий металлургии железа в Скандинавии и Альпийском регионе.

И в Скандинавии, и в Альпах в VII–VIII вв. стали строить сыродутные горны высотой больше человеческого роста, причем увеличение высоты агрегата происходило очень интенсивно, и к концу тысячелетия строились печи высотой до 5 м. В чем причина такого изменения конструкции агрегата? Изначально стремились к повышению производительности печи. Однако полученный «побочный» эффект неожиданно превзошел первоначальные ожидания средневековых мастеров. Дело в том, что с увеличением высоты горнов в них стали существенно улучшаться условия теплообмена между опускающимися сверху железорудными материалами и поднимающимися снизу, от фурм, восстановительным газом (оксидом углерода). Можно сказать, что в печи появилось «дополнительное» тепло. В результате стали более полно проходить как реакции восстановления железа из оксидов, так и науглероживания свежавосстановленного железа. Таким образом, получаемая крица стала более равномерной по химическому составу, в ней повысилось содержание железа, а само железо стало более насыщено углеродом.

В вышеупомянутых печах, как и в сыродутных горнах, производимым продуктом оставалась крица, но вместе с тем в связи с развитием в агрегате процессов теплообмена их можно отнести к категории шахтных печей (которыми считаются появившиеся позднее домницы, доменные и ваграночные печи). Двойственная природа обсуждаемых скандинавских и альпийских средневековых печей нашла отражение в их названиях. В Скандинавии такие печи назывались осмундскими (от «осмунд» – крица), в альпийском регионе высокие сыродутные горны получили название «штюкофен» (от немецких слов «штюк» – крица

и «офен» – печь), в отличие от обычных сыродутных горнов, за которыми закрепилось название «реннофен» – печь с бегущим шлаком.

Развитие металлургии железа в Альпах и в Скандинавии базировалось на прекрасном ресурсном фундаменте. В обоих регионах были в достатке легкодоступные богатые железные руды. Сначала их добывали непосредственно на поверхности земли, а по мере истощения открытых месторождений железную руду стали добывать из штолен – горизонтальных или наклонных горных выработок.

Помимо залежей руд цветных и черных металлов, горы располагают лесистыми ущельями и быстрыми горными потоками. Таким образом, в распоряжении средневековых металлургов находились богатые ресурсы качественной древесины для выжига угля и мощные потоки воды для приведения в действие водоналивных колес, обеспечивавших подачу в штюкофены необходимого количества дутья. Однако широкое использование дутьевых средств началось в конце тысячелетия, до этого металлурги использовали главным образом естественное движение воздуха. И в этом виде ресурсов Скандинавия и Альпы предоставляли металлургам необходимые возможности.

Север Европы часто называют страной ветров. Каждый глубоко врезающийся в побережье залив, каждый пролив между многочисленными островами фактически является природным поддувальным мехом. Постоянным движением воздуха отличается и Альпийский регион, особенно его древнейшая металлургическая провинция – Штирия. Таким образом, средневековый металлург, работавший с крупнейшими агрегатами своего времени – штюкофенами и осмундскими печами, должен был быть специалистом-«ландшафтоведом», т. е. должен уметь, подобно мореплавателю, управляющему кораблем, «поймать ветер», чтобы извлечь железо из руды.

Штюкофены и осмундские печи обеспечивали самый высокий температурный уровень термических процессов раннего Средневековья. Температура продуктов плавки (крицы и шлака) в них гарантированно достигала 1 400 °С, но условия науглероживания металла в печах все же еще не позволяли получать в них чугуны. Нужен был еще один шаг, еще некоторое увеличение высоты агрегата, чтобы получить новое качество – новый продукт процесса, высокоуглеродистый сплав чугуна. Этот шаг был сделан после появления печей шахтного типа – «домниц» (русское название), или «блауофенов» (немецкий термин), в начале XIV столетия.

Штюкофен и осмундская печь. Рассмотрим теперь работу со штюкофенами и осмундскими печами более подробно. Отметим, что

конструкция агрегатов была очень похожей, основные различия заключались во «внешнем оформлении»: осмундские печи, как правило, помещались в деревянные срубы, а конструкция штюкофенов усиливалась снаружи каменной кладкой (рис. 2.31). Дутьевая фурма использовалась одна и устанавливалась горизонтально в нижней части печи таким образом, что ниже ее располагались лишь отверстия для выпуска из печи шлака.

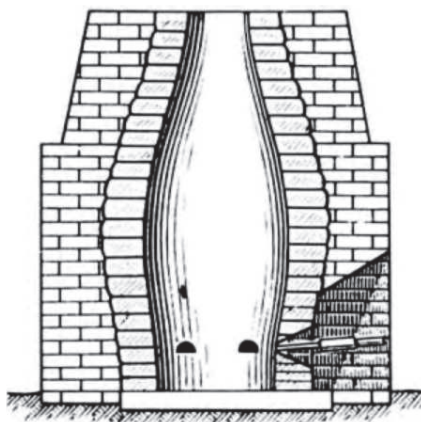


Рис. 2.31. Схема металлургической печи типа штюкофен

Перед началом плавки внутреннее пространство печи обмазывали огнеупорной глиной и набивали угольным порошком. Затем производили «обжигание горна», которое заключалось в прогреве кладки путем сжигания дров и некоторого количества древесного угля. После этого печь наполовину загружали порцией древесного угля, перемешанного с небольшим количеством легкоплавкой железной руды. В результате плавления этой первой (выражаясь современным языком доменщика, «задувочной») шихты стенки нижней части печи покрывались своеобразным защитным слоем – гарнисажем. Только после такой длительной подготовки агрегата переходили к процессу плавки.

Шихту готовили тщательно: куски руды, представлявшей собой красный или бурый железняк с массовым содержанием железа около 50 %, дробили до крупности гороха или лесного ореха, древесный уголь, требования к качеству которого непрерывно возрастали, измельчали до размера грецкого ореха. Оба компонента шихты отделяли от мелких ча-

стиц и пыли вручную. Печь наполовину заполняли древесным углем, а затем загрузку руды и угля производили последовательно горизонтальными слоями толщиной не более 10–12 см.

После воспламенения древесного угля в нижней части печи, где проходила реакция неполного горения углерода угля до монооксида углерода, достигалась температура 1 400–1 450 °С. В верхней зоне печи (на колошнике) температура отходящих газов, состоящих в основном из СО и азота, составляла 700–900 °С. Поэтому отходящий газ при взаимодействии с кислородом воздуха воспламенялся и непрерывно горел в течение всей плавки.

Железистые шлаки отличаются высокой жидкоподвижностью, поэтому они легко вытекали из печи через отверстия в стенках, расположенные немного ниже уровня фурмы.

В результате плавки получался металл с низким содержанием кремния (менее 0,05 % (масс.)), марганца (менее 0,5 %) и фосфора (менее 0,01 %). Содержание углерода в различных участках крицы колебалось в широких пределах – от 0,05 до 1,5 %. Как известно, температура плавления низкоуглеродистого железа, составлявшего основную массу крицы, составляет 1 480–1 520 °С, поэтому крица получалась твердой. Однако с повышением высоты печей и улучшением условий теплообмена содержание углерода в крице увеличивалось, и в начале второго тысячелетия ее часто извлекали из штюкофенов оплавленной.

Плавка продолжалась от 4 до 6 часов, после чего раскаленную до белого каления крицу клещами извлекали через пролом в передней стенке горна. Пролом делался в месте установки фурмы, что позволяло одновременно производить контроль состояния и, при необходимости, замену сопла дутьевого устройства. В крице оставались включения угля и шлака, составлявшие до 10 % ее массы. Поэтому крицу уплотняли деревянными молотами, а затем тщательно проковывали кузнечным молотом для удаления шлака из мелких пор. Потери железа со шлаком и в результате отбраковки по-прежнему оставались высокими и могли достигать половины от количества железа, попавшего в печь с рудой. Всего за сутки, с учетом постоянного ремонта печи, успевали произвести 2–4 крицы.

Высоким был и расход древесного угля: непосредственно на процесс извлечения железа из руды он составлял 3–4 кг «сырого» железа, еще столько же топлива требовалось сжечь при переработке сырца в товарный продукт. С учетом же того, что при производстве древесного угля масса продукта составляла не более 15 % от массы дров, общий

расход высококачественной древесины на производство килограмма железа достигал почти 50 кг. Потребность в древесном угле была столь высока, что к концу тысячелетия пришлось существенно усовершенствовать технологию его производства: от архаичного способа выжига в ямах перешли к более производительной и экономичной технологии получения продукта в кучах диаметром свыше 3 м.

Металлургия средневековой Руси. От Днепра до Урала европейская часть России в прошлом была покрыта лесами. Наличие руд, леса и рек благоприятствовало развитию металлургического и литейного производства.

Широкое распространение получила плавка бронзы. Об этом свидетельствуют многочисленные изделия из этого металла, дошедшие до наших дней.

Древние рукописи и находки свидетельствуют о том, что к VIII в. на Руси уже широко использовалось литье по восковым моделям.

В VIII–IX вв. собственно литьем занимались преимущественно женщины. Они отливали кольца, серьги, браслеты и другие украшения, посуду и домашнюю утварь, изготавливали мелкие литейные формы. Во многих женских захоронениях наряду с литыми украшениями и утварью в гробницах находили инструменты и литейные формы.

Образование единого древнерусского государства – Киевской Руси – и принятие христианства привели к существенному экономическому развитию. К X в. Киевская Русь являлась крупнейшей региональной державой и, естественно, потребность во многих литых изделиях резко возросла. К этому времени отливали не только украшения, ножи, топоры, кинжалы, секиры, но и скобы, гвозди, подковы, серпы, косы, мотыги, лемехи. Литейное производство становилось все более тяжелым и трудным. Постепенно оно снова перешло в руки мужчин. К этому времени литейное производство сливается с кузнечным, они дополняют друг друга. Мастерство русских литейщиков становится известным и в других странах, начинает развиваться экспорт русского литья за границу.

Процесс феодальной раздробленности на Руси привел к ослаблению ее международного влияния, однако в технологическом плане Русь оставалась на лидирующих позициях. Насколько Русь в XI в. обогнала европейские страны в развитии литья, можно судить по следующим примерам.

В 1066 г. в знаменитой битве при Гастингсе англосаксы во главе с Гарольдом отражали натиск норманов Вильгельма-Завоевателя с помощью... каменных топоров.

На Руси же полки Владимира Святославовича и Ярослава Мудрого в борьбе с печенегами использовали только литое и кованое металлическое оружие.

Из летописей можно узнать, что в XII в. Русь экспортировала в Европу литые кресты, колокола и мечи. Центрами литейного производства были княжеские дворы и монастыри.

Приезжавшие в Россию иностранцы поражались развитию добычи руды и обработки металлов. Особенно они ценили мастерство киевских литейщиков, восхищались изделиями златокузнецов и превозносили красоту златоглавого престола киевского князя Владимира.

В русской и западославянской мифологии богом огня был Сварог, покровительствующий кузнецам. «На Руси, – пишет академик Б. А. Рыбаков, – народ окружил кузнецов множеством легенд и поверий, называя их кузнец-колдун, «хитрец». Кузнец мог не только выковать плуг или меч, но и врачевать болезни, устраивать свадьбы, ворожить, отгонять нечистую силу от деревни. В эпических сказаниях именно кузнец является победителем дракона – Змея Горыныча, которого он приковывает за язык». Конечно, такие представления о людях, работавших с металлом, могли возникнуть только при высоком мастерстве древних мастеров-металлургов и кузнецов, работа которых представлялась окружающим тайной или волшебством.

Русские кузнецы владели всеми основными техническими способами и приемами обработки железа, меди, некоторых ее сплавов, а также серебра и золота. В железоделательном производстве широко применялась очень сложная и ответственная операция – кузнечная сварка, требовавшая от мастера большого опыта и умения. Сварка сильно расширила возможности кузнечной технологии.

Кузнечное ремесло было широко распространено в древнерусских городах и деревнях. Городские кузницы отличались от деревенских большими размерами, наличием в них более сложных инструментов и технических приспособлений. Производилось все, что требовалось в условиях городской и деревенской жизни: топоры, ножи, обручи и дужки для ушатов, гвозди, серпы, косы, долота, шилья, лопаты, скороды, массивные клепанные из листов котлы, винты (перекручиванием четырехгранных стержней), тяжелые лемехи. В числе предметов, выделяемых с помощью кузнечной сварки, были цепи, дверные пробой, железные кольца, остроги и многие другие изделия.

В кузнечных мастерских изготовлялось также боевое оружие и военное снаряжение – мечи, копья, шлемы, кольчуги. Например, производ-

ство шлемов не представляло для русских кузнецов особых трудностей ввиду того, что основные кузнечные операции, связанные с изготовлением железных листов и их склепыванием, были хорошо известны.

Кроме железа, материалом для производства листов служили свинец, медь и иногда олово. Металлические листы русские строители и архитекторы применяли в качестве кровельного материала, а также для изготовления ворот, дверей и т. п. На свинцовые кровли и маковки церквей указывают летописи XIII–XV вв., в частности Новгородские летописи 1261 и 1345 гг. и Псковская летопись 1420 г.

Производство кровельной меди на Руси относится к домонгольскому периоду. С принятием в 988 г. христианства началось интенсивное строительство церквей, оказавшее большое влияние на развитие производства листовой кровельной меди. Результаты исследований археологов и историков показывают, что медные кованные листы особенно широко применялись во Владимирской Руси. Обычно на покрытие куполов церквей шли позолоченные медные листы. Подобный медный, с густой позолотой, лист, на котором сохранилась дата – 1340 г., извлечен из Успенского собора во Владимире (рис. 2.32).



Рис. 2.32. Успенский собор во Владимире, XIV в.

Дошедшие до нас наковальни русских кузнецов IX–XIII вв. обычно имеют форму железной четырехгранной усеченной пирамиды, вбивавшейся узкой частью в пень. Существовали также крупные наковальни, устанавливаемые на массивные основания. Были и специальные наковальни, снабженные раздвоенным на конце отростком. Такими наковальнями обычно пользовались городские кузнецы, отковывавшие

различные пустотелые предметы, например шлемы, втулки копий, кольца. Наковальня с отрезком, кроме того, допускала применение набора фигурных подкладок для изготовления изделий сложного профиля, в том числе имеющих кривые поверхности.

Ремесленники Древней Руси широко применяли технику волочения проволоки. К IX–X вв. относятся интереснейшие материалы по истории ювелирного дела в Киевской Руси. Из золота и серебра русские мастера изготавливали золотошвейные нити, а также проволоку из цветных металлов. Из толстой волоченой проволоки (диаметром 2–3 мм) делали браслеты, гривны (нашейные украшения), различные украшения. Чаще всего использовалась свитая проволока, сложенная в три-четыре раза. Длина проволоки для изготовления одного браслета доходила до 1,5 м.

Русь славилась качеством сварочного железа. Сохранились так называемые «Торговые книги», из которых следует, что еще в XVI и XVII вв. обычным делом была продажа русского уклада (стали) практически во все западноевропейские страны. Западноевропейский деятель Я. Рейтенфельс, побывавший в Московии в 1670 г., написал, что страна москвитов «живой источник хлеба металла».

Интересно, что в те времена были широко распространены железоделательные промыслы, созданные по инициативе крестьян. Так, например, неподалеку от Новгорода в районе Устюжны было такое множество «горнов для делания железа», что приехавшему сюда новгородскому губернатору показалось, будто он «заехал в предместье Вулкана». При раскопках в Старой Рязани в 16 из 19 жилищ горожан обнаружены следы выплавки железа.

«Индивидуальное» производство железа было возможным потому, что для его варки применялись болотные руды, встречавшиеся на Руси повсеместно на дне болот, озер и на берегах рек. Это были бурые железняки органического происхождения, которые начинали восстанавливаться при 400 °С, а при 700–800 °С можно было получить железо.

Наряду с индивидуальным существовало и специализированное крупное производство. Известна домница XIII в., найденная близ города Бердичева. Она совершеннее новгородских домниц XVIII в.: шлак у нее непрерывно стекал по каналам в специальные ямы. Недалеко от Нурека в Гочевском городище был обнаружен металлургический «завод», относящийся к XV в. Пространство площадью 10 000 кв. м было завалено остатками домниц, шлаком и крицами. Таких центров производства железа на Руси было немало. Недаром в знаменитом литературном памятнике XII в. «Слове Даниила Заточника» сказано: «Лучше бы

ми железо варити, нежели со злою женою быти». Далее, говоря о трудностях, связанных с производством железа из руд, Д. Заточник поясняет: «Не огонь творит разжение железу, но надмение мешное». «Надмение мешное» – надуваемые меха. Их раздували вручную, и это было тяжелым делом.

Однако в Древней Руси наряду с железом часто применяли и углеродистую сталь. Наибольшее распространение получили способы изготовления ее в кузнечном горне. В обычный кузнечный горн клали железную крицу, засыпали ее древесным углем и нагревали. Начиная с температур 700–900 °С углерод диффундировал (проникал) в железо. Кузнец вынимал крицу и быстро охлаждал ее в воде или снеге. Сталистая поверхность крицы охрупчивалась и при ударах молота отделялась. Подобную операцию проделывали до тех пор, пока вся крица не превращалась в стальные пластины. Полученные пластины отжигали и сваривали между собой.

На Руси также было хорошо известно науглероживание (цементация) всей массы железного изделия, для этого изделие вместе с карбюризатором (источником углерода, в качестве которого использовали древесный уголь) закладывали в огнеупорный сосуд, сделанный из глины, нагревали в горне до высокой температуры и выдерживали длительное время. Таким образом получали углеродистые стали, содержащие не более 0,4–0,8 % углерода.

Технология литья русских колоколов. Одна из ярких страниц истории литейного производства в России связана с литьем колоколов. Колоколами русские умельцы славились еще с X–XI столетий. Немало отлитых в России колоколов было вывезено в Чехию, Польшу, Австрию, а позднее даже в Англию.

Колокола в прошлом играли большую роль в жизни общества. Им придавалось различное назначение. Церковные и монастырские колокола предназначались для выполнения культовых и религиозных функций. Различались воскресные, праздничные, будничные колокола, величественные, зазвонные, трапезные, бденные, полиелейные.

Гражданские (городские) колокола также выполняли различные функции. Одни созывали граждан на вече («вечевые»), под звон других проводились казни. «Вспокошнные» колокола созывали людей на борьбу с пожарами, «часовые» – отбивали время, «вестовые» – подавали сигналы к сбору для информации. Звон колоколов в сильную пургу давал возможность путникам не заблудиться. Были даже колокола, извещавшие о начале продажи рыбы, о раздаче угля и о времени тушения огней.

Военные колокола били в набат («набатные»), подавали сигналы к сбору, к восстаниям, били сигналы тревоги, предназначались для осады («осадные») и для создания шума в момент наступления («шумовые»).

Колокола различались размерами, массой, внешним видом, красотой отделки и тембрами звука. Все это требовало от создававших их литейщиков большого умения, опыта и знаний.

В прошлом колоколам придавали такое большое значение, что относились к ним чуть ли не как к людям. Колокола крестили, у них были крестные отец и мать. Имена крестных выбивались на поверхности колоколов. Колоколам давались, как правило, мужские имена. Их хвалили, их наказывали, били, брали в плен и даже казнили.

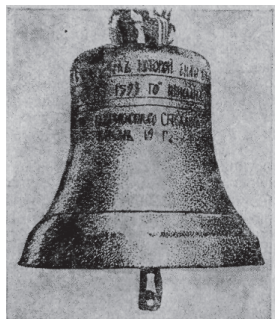


Рис. 2.33. Угличский колокол

Особо примечательна судьба Угличского колокола (рис. 2.33). За звон во время умерщвления царевича Дмитрия этот колокол был сброшен со звонницы, его в исступлении били кнутами, потом отрубили ухо, на колоколе высечены были слова, уличающие его в преступлении. В 1599 г. царь Борис Годунов распорядился сослать колокол в ссылку в Сибирь. Через 250 лет жители Углича подали в Синод прошение о помиловании этого колокола. Синод потребовал представить ему положительную характеристику на колокол, и дело было замято. Еще через 40 лет жители Углича вновь подняли вопрос о возвращении колокола. И лишь в 1892 г., почти через 300 лет, колокол был помилован и возвращен в Углич. Теперь он находится в Угличском музее.

В 1605 г. в России был отлит один из крупнейших для того времени колоколов. Он весил 35 т. Диаметр его широкой части составлял 5,5 м. Язык колокола был столь тяжел, что для того, чтобы благовестить, за веревку, привязанную к языку колокола, должны были браться одновременно 20 человек!

Все строения в России в ту пору были деревянными. Деревянной была и звонница, на которую был подвешен колокол. Пожары были частыми бедствиями, и уничтожали они иногда целые города. В годы царствования Бориса Годунова случился такой большой пожар. Сгорела и звонница, а раскаленный от огня колокол упал и разбился.

Через полстолетия царь Алексей Михайлович приказал отлить новый колокол, «поболее прежнего». Для этого из Австрии были при-

глашены знатные мастера литейного дела, но они отказались выполнить такую необычную работу, требовавшую «трудов весьма великих и бес-
счетных».

Эти труды взяли на себя русские мастера. Сначала за работу взялся Емельян Данилов, потом – Александр Григорьев с помощниками. С задачей справились великолепно. В 1654 г. была закончена отливка колокола, масса которого составляла уже 130 т!

Девять месяцев шли работы по подъему невиданного колокола, и, наконец, он оказался на месте. Теперь, чтобы благовестить, за веревку, привязанную к языку колокола, должны были браться 100 человек. Под мелодичный звон этого 130-тонного колокола вступали на российский престол один за другим три царя: царь Федор Алексеевич, Иван V и Петр I.

33 года прослужил этот шедевр литейного производства и искусства. А в 1701 г. снова в Кремле произошел пожар. Сгорели деревянные балки, на которых был подвешен колокол. Он упал и разбился.

Петр I, занимавшийся важными государственными делами и развитием промышленности, не очень чтит празднества и церемонии и упавшему колоколу внимания не уделил.

В 1731 г. племянница Петра I Анна Ивановна приказала перелить разбившийся колокол, сделав его еще большим.

Предложение взять на себя этот труд было передано парижскому королевскому механику Жермену. Услышав о том, что ему предлагают отлить колокол массой 9 тысяч пудов, Жермен решил, что над ним хотят пошутить, и выставил царских гонцов за дверь. Не взялись за эту работу и другие прославленные иностранные мастера.

Смелые мастера нашлись в России. Это были отец и сын Иван Федорович и Михаил Иванович Моторины, литейщики с большим опытом и знанием дела. В 1733 г. они начали и в 1736 г. закончили отливку совершенно необычайного колокола, прозванного впоследствии «Царь-колоколом».

Новый колокол весил свыше 12 тысяч пудов (201 т). Его диаметр составлял 6,9 м, высота 6,3 м. Этот колокол был величайшим в мире (самые крупные колокола за рубежом – это японский в Киото, весящий



Рис. 2.34. Царь-колокол. Работа И.Ф. и М.И. Моториных, 1736 г.

75 т; Мингунский колокол в Мьянме, весящий 80 т; находящийся в Китае, в городе Пиндиншань провинции Хэнань, Колокол Счастья весом 116 т). Царь-колокол поражает и в наше время красотой форм, наличием литых барельефов.

Через год после отливки колокола в Кремле снова случился пожар. Колокол еще стоял в яме, но на него стали сваливаться горящие бревна. Сбежавшая охрана решила, что для сохранения уникальной отливки ее следует поливать водой. Из-за неравномерного охлаждения от колокола, в нижней его части, откололся кусок массой 13 т.

Поврежденный колокол целый век оставался в яме. Лишь в 1836 г. его подняли, очистили и установили на пьедестал во дворе Московского Кремля, где он и стоит до сих пор.

Русские литейщики прочно утвердили первенство нашей родины в отливке самых выдающихся по размерам, массе, тональности звука и качеству литья колоколов. Из 12 крупнейших колоколов мира шесть были отлиты в России, причем три из них не были превзойдены никем.

Как же отливали колокола? Литейную форму для отливки колоколов делали методом формовки по шаблону. Шаблон – это кусок деревянной доски с вырезами на одной из сторон, соответствующими образующей наружной или внутренней поверхности колокола.

Шаблон укрепляли на стойке, вокруг которой он мог вращаться (рис. 2.35). На основание стойки наносили песчано-глиняную массу и, вращая шаблон вокруг вертикальной оси, получали стержень, наружная форма которого отвечала внутренней поверхности колокола. Отделанный стержень показан на рисунке слева.

Другим шаблоном отделывали внутреннюю поверхность формы, отвечающую наружным очертаниям колокола. На рис. 2.35 слева показан момент установки подвешенной формы на поддон, на котором стоит уже стержень.

Готовую литейную форму устанавливали вблизи пламенной плавильной печи (рис. 2.36). На колосниковую решетку топки печи забрасывали твердое топливо (на рисунке справа). Продукты горения топлива переходили в плавильную камеру и расплавляли медь. Перед выпуском в жидкую медь забрасывали олово и тщательно перемешивали металл. Затем открывали выпускное отверстие (легку), и жидкая бронза по желобу заливалась в полость литейной формы (на рисунке слева).

Технологии обработки материалов в Средневековье. Рассмотрим технологические особенности обработки материалов периода Средневековья.

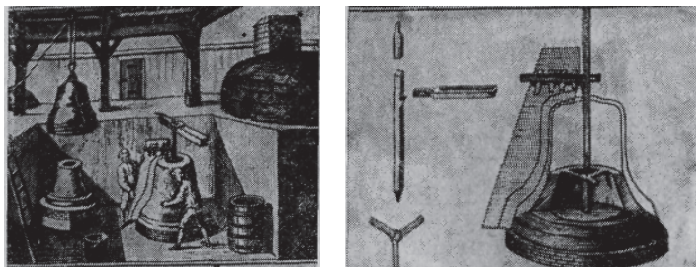


Рис. 2.35. Процесс формовки колокола деревянными шаблонами, вращающимися вокруг временной вертикальной стойки

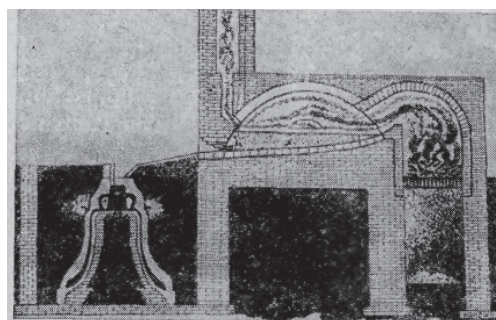


Рис. 2.36. Схема пламенной печи для плавки бронзы, подвода металла к литейной форме с заформованным в ней колоколом

Развитие металлургии указанного периода характеризуется применением больших печей (остмундской и штокофена) для получения крупных и сверхкрупных криц с массой в несколько десятков килограммов и даже доходящей до центнера.

Литейное производство совершенствуется незначительно. Основным литейным материалом остается бронза, из которой получают относительно небольшое количество типов изделий. Ограничения на развитие литейной технологии накладывает высокая цена бронзы. Тем не менее некоторые усовершенствования литейного процесса появляются. Можно упомянуть и изобретение формовки по шаблону русских колоколов, и применение в качестве формовочного материала земли.

Более существенные изменения произошли в обработке металлов давлением. Ковка и штамповка мало изменились по сравнению с античными временами, однако в Средневековье новое развитие получает

техника волочения металлов. Одним из наиболее ранних письменных источников, указывающих на волочильный инструмент, является латинская рукопись, написанная в X в. немецким монахом из Паденборна Теофилом, под названием «Книга разных искусств». В ней говорится о волоках как об инструментах, встречающихся в любой хорошо оборудованной мастерской. По описанию волокни представляют собой пластины шириной в два или три пальца, снабженные тремя или четырьмя рядами отверстий, через которые протягивается проволока.

Приведенные Теофилом данные показывают, что уровень техники изготовления инструмента, например в X в., мог обеспечить волочильное производство качественными стальными досками, пригодными для волочения не только цветных и благородных металлов, но и железа.

В X–XIII вв. волочение проволоки было важной отраслью металлообрабатывающего производства в Западной Европе. Здесь в это время создаются цеховые объединения волочильщиков проволоки. Продукция этих цехов – медная, бронзовая и железная проволока – шла для изготовления предметов быта: иголок, булавок, заклепок, гвоздей, кардных щеток и т. п.



Рис. 2.37. Волочение проволоки на приспособлении с качающимся сиденьем, около 1418 г.

В простейших волочильных приспособлениях далекого прошлого усилие волочения передавалось непосредственно мускулами рук человека. Этот способ был несколько усовершенствован благодаря применению так называемого волочильного приспособления с качающимся сиденьем. До нас дошло старинное изображение такого волочильного устройства, датированное 1418 г. (рис. 2.37). Мастер сидел на доске, подвешенной на двух канатах. Устройство напоминало качели. Волочильная доска забивалась в пень, клещи привязывались к поясу мастера, который при наклонении вперед захватывал клещами заостренный конец проволоки, продевший в волочильное отверстие, а затем, упираясь ногами в пень, откатывался назад. За

один рабочий ход протягивался кусок проволоки длиной около 0,3 м. Повторяя подобные движения несколько раз, волочильщик протягивал весь отрезок проволоки. Таким же образом проволока пропусклась через меньшие отверстия, пока не доводилась до требуемой тонкости.

По всей вероятности, волоочильные приспособления с качающимся сиденьем применялись мастерами-волоочильщиками европейских стран и в более ранний период. Они позволяли волоочильщику с меньшей опасностью и с некоторым удобством изготавливать проволоку, освободив мышцы рук от тяжелой физической работы и передав усилие волочения на более сильные мышцы ног. Этот способ дал возможность делать проволоку сравнительно крупных диаметров из кованных или резаных заготовок.

В технологиях соединения материалов практически никаких существенных изменений с античного периода не произошло. Хорошо известные в античные времена клепка, пайка и кузнечная сварка также широко применялись и в Средние века.

Потребность в изготовлении значительного количества все более сложных изделий заставила искать способы улучшения конструкции примитивного токарного станка с ручным лучковым приводом. Прежде всего, требовалось освободить для работы над изделием обе руки токаря. Это было достигнуто с открытием ножного привода, который состоял из педали, соединенной гибкой связью с деревянной пружиной. Пружины имели вид либо очепа (рис. 2.38), либо лука.

Очеп обычно имел форму бруска, прямоугольное сечение которого на одном конце было значительно больше, чем на другом. Он прикреплялся толстым концом к стене или стойке, а к другому его концу присоединялась веревка, которой заготовка обматывалась один-два раза. Другой конец веревки прикреплялся к педали. Упругость очепа, тянувшего веревку, заставляла заготовку вращаться.

Нередко в качестве пружины вместо очепа применялся деревянный лучок, прикреплявшийся к потолку или другому прочному месту за середину. Концы лука стягивались тетивой, к которой прикреплялась приводная веревка. Появление станка с ножным приводом и деревянной пружинной можно отнести к XIII в.

Первое известное изображение педального токарного станка относится к XIII в. Оно имеется на витраже Шартрского собора. Рисунок



Рис. 2.38. Токарный станок с очепом и ножным приводом. XIV в. Французская миниатюра

не дает возможности установить, имеет станок очеп или лук. Совершенно ясно очеп виден на рисунке, изображающем токаря, во французской рукописи XIV в. (рис. 2.38).

Подводя итог развитию обработки материалов в раннем Средневековье, мы можем констатировать, что улучшения в технологиях коснулись в первую очередь обработки давлением и резанием и в меньшей степени металлургии и литейного производства. Во всех случаях принципиальных изменений в технологии обработки материалов не произошло.

Изобретение пороха. К существенному и принципиальному развитию технологий обработки материалов привело изобретение, которое, как, пожалуй, ни одно другое до него, сразу же привлекло к себе внимание и имело далеко идущие последствия. Речь идет о порохе.

В Китае порох был известен уже в V в. н. э. Порох применяли также греки и арабы. Затем от арабов, начиная с X в., порох стал известен и в Европе. Огнестрельное оружие появилось позже, в Китае примерно с IX в., в Европе – с XIII в.

Порох (смесь селитры, серы и каменного угля) использовался китайцами и для фейерверков, и для боевых действий. Китайцы владели секретами многих подобных средств, но порох обладал двумя свойствами, имевшими огромное значение: быстрое сгорание на воздухе и способность взрываться в замкнутом пространстве.

Каждый из компонентов пороха играет в его составе особую роль. Сера легко воспламеняется и горит, выделяя большое количество тепла. Селитра при горении выделяет много кислорода. Высокая температура и кислород – условия для быстрого сгорания угля. Такой смеси не нужен кислород из воздуха при горении – значит, оно может происходить в замкнутом пространстве, целиком заполненном этой смесью. Если порох поместить в оболочку и воспламенить через небольшое отверстие, то произойдет мгновенное сгорание его – взрыв, и образовавшиеся газы эту оболочку разорвут.

А что произойдет, если оболочка пороха не сплошная, если на емкости с порохом крышка? Газы действуют равномерно на все стенки емкости, но только одна из них – крышка – подвижна. Значит, они вытолкнут ее. Если приблизить крышку к пороху так, чтобы свободного воздушного пространства между ними практически не оставалось, то крышка превращается в снаряд, порох – в заряд для его бросания, а сама емкость – в огнестрельное орудие. Но все это лишь кажется таким простым. Прошли сотни лет, прежде чем люди поняли: порох может не

только взрываться – его можно заставить силой взрыва бросать снаряды на большие расстояния.

В XIV в. было принято считать порох и огнестрельное оружие делом дьявола. Франческо Петрарка, великий итальянский поэт и гуманист, писал в 1360 г.: «Эта ужасно разящая мерзость придумана для великого изведения земли и людей и создана как инструмент, при помощи которого в людей, дома, стены и башни можно метать огонь, камни, свинцовые и железные ядра. Дьявол стоит за этим изобретением и создателем его был, вероятно, плохой человек, злобный по отношению к людям».

Первые пушки делались из сваренных между собой толстых кованых железных полос, скрепленных поперечными обручами (рис. 2.39). К концу XIV в. тяжелые и неповоротливые железные орудия стали заменять более легкими и надежными бронзовыми. При той же конструкции их делали иногда уже совершенно огромными. Бронзовые артиллерийские орудия поздних времен, XVI–XVII вв., были очень красивы. Сверкающие полированные поверхности, рельефные и резные надписи с именами мастеров и заказчиков, гербы европейских государей, пышный растительный орнамент, изображения героев и фантастических животных – таковы пушки и mortiry этого времени. Это подлинные шедевры литейного мастерства и искусства, а их создатели – настоящие художники.



Рис. 2.39. Французская кулеврина (легкая пушка), скованная из железных полос, 1410 г.

Однако цена бронзовых орудий была очень велика. Поэтому поиск материала, способного заменить бронзу при литье пушек, привел к использованию литейного чугуна. Совершенствовался не только материал, но и форма ствола, она становилась все более сложной. Эффективность стрельбы была возможна только при надежном закреплении

«тела» орудия в лафете, но в то же время необходимо было менять угол его возвышения. Появились цапфы – цилиндрические приливы по бокам ствола, которые укладывались в гнезда – полукруглые вырезы на станинах. Отдача при выстреле не могла теперь сбросить ствол с лафета, в то же время специальное устройство позволяло поднять и опустить его казенную (заднюю) часть, а при этом соответственно опускалась или поднималась передняя – дульная (рис. 2.40).

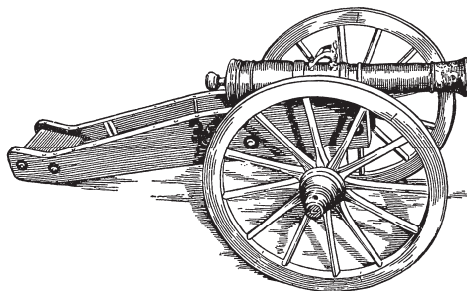


Рис. 2.40. Пушка «Единоног», XVIII в.

Задний срез ствола (тарель) первоначально опирался на дерево лафета, непосредственно передавая ему отдачу. Теперь в этом уже не было необходимости – отдача шла через цапфы. На тарели стали делать приливы в виде шара на шейке, чтобы удобнее было поднимать и опускать ствол. Шары чаще всего отливались в форме виноградных кистей – отсюда и их название: «винограды». Над цапфами в верхней части ствола были специальные скобы – тоже для облегчения его опускания и подъема. Скобам придавали разную форму, но чаще всего они напоминали морских животных с выгнутыми спинами, и постепенно за ними утвердилось название «дельфины». Такой вид артиллерийское орудие сохраняло долго. Со временем менялись его пропорции, становились легче ствол и лафет, исчезали излишние украшения и, главное, улучшалось качество литья.

С освоением огнестрельного оружия коренным образом изменился характер военных действий. Артиллерия вскоре стала наводить ужас на всех, кто до сих пор считал себя в безопасности за мощными стенами крепостей и городов. Развивающаяся наука об артиллерии поставила новые задачи перед металлургией. Первоначально, как известно, в качестве снарядов использовали исключительно камни, но очень скоро перешли

к железным ядрам (рис. 2.41). Как утверждает хроника, Людовик XI, король Франции, был первым, кто в середине XV в. повелел применять исключительно железные ядра. В распоряжении его сына Карла VIII была уже такая первоклассная артиллерия, что за неделю ему сдались более 60 городов Нормандии, не выдержавших обстрела.

Железные ядра по сравнению с каменными снарядами имели много преимуществ. Так, например, можно было стрелять раскаленными ядрами, в результате чего загорались крытые соломой и дранкой дома и строения. Потребность в снарядах была большой, особенно при осадах, и исчислялась тысячами. Так, гуситы при осаде крепости Карлштайн израсходовали более 11 000 каменных снарядов, правда, взять крепость им так и не удалось. Чугунное литье давало возможность организовать массовое производство ядер для мортир. После полного перехода на железные и чугунные ядра стала возможной калибровка орудий, введенная императором священной Римской империи Максимилианом. Итальянец Ванноччо Бирингуччо (1480–1539) в своей знаменитой книге «О пиротехнике» (рис. 2.42) очень подробно описал процесс получения ядер в металлической форме, позволявшей одновременно отливать семь ядер. Литейные мастерские, в которых занимались ковкой железных и отливкой чугунных ядер, создавались в большинстве крупных городов того времени. Каменные снаряды очень скоро перестали применяться.

Существенным шагом вперед в развитии боеприпасов явилось создание полых снарядов. Для этого необходим уже значительно более высокий уровень чугунолитейного мастерства. Не меньшего мастерства требовала отливка пушек. Бронзовое литье получали теперь уже без



Рис. 2.41. Каменные и железные, покрытые свинцом, пушечные ядра, XVI в.

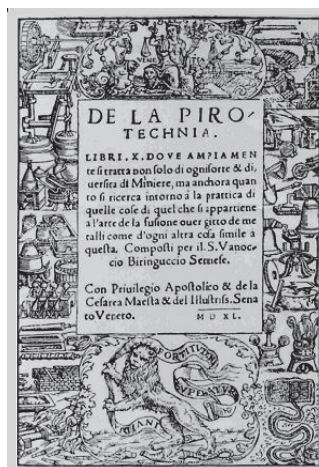


Рис. 2.42. Обложка 10-го тома книги В. Бирингуччо «О пиротехнике»

особых затруднений, но оно было дорогим. Поэтому шли интенсивные поиски усовершенствования способа литья чугуна. Первые тяжелые корабельные пушки, отлитые из дешевого чугуна, появились в Швеции и Англии. Начало развития чугунолитейного производства пушек в Англии относится ко времени правления короля Генриха VIII, который умер в 1547 г.

В Англии же впервые додумались заменить каменные и кованые железные ядра литыми чугунными. Железные ядра были не пригодны для массового производства, такие ядра, ковавшиеся не в штампе, а на плоских бойках, не имели круглого сечения. Чтобы устранить этот недостаток, их послековки обливали свинцом в соответствующей круглой форме. Преимущества новых чугунных ядер, которые были намного дешевле и проще в изготовлении, выявились сразу. Последовало повеление Генриха VIII о массовом изготовлении литых чугунных пушек и ядер к ним.

Отливка пушек в стране широко развивалась, и вскоре Англия начала торговать ими, причем во все возрастающих масштабах. Дело дошло до того, что испанцы стреляли по английским кораблям пушками, изготовленными в Англии. Был издан приказ, запрещающий продавать и вывозить пушки за пределы Англии. Однако спрос на пушки был так велик, что они превратились в контрабандный товар. Испанская «Непобедимая» армада Филиппа II, гигантский флот, который должен был поставить Англию на колени в 1588 г., имел на вооружении 2 431 пушку и 124 тысячи ядер к ним. На наиболее крупных кораблях было установлено по 50 пушек. Сколько из них было изготовлено в Англии, точно сказать никто не может, но то, что их было много, известно всем.

В России бурное развитие ствольной артиллерии началось несколько раньше, чем в Европе, в XV веке. Этому способствовали открытая в 1480 г. Пушечная изба (превращенная впоследствии в Пушечный двор) в Москве и Пушечные дворы в Новгороде, Пскове и Туле.

Крупным специалистом-литейщиком в Пушечной избе проявил себя мастер Яков, создавший ряд пушек наибольшего для того времени калибра. В начале XVI в. своими замечательными пушками прославился литейщик Булгак Новгородов. Как свидетельствует летописец, с помощью пушек Новгородова пушкарь Степан наводил ужас на поляков, захвативших Смоленск: «Ужасными действиями пушек он колебал стены и толпами валил народ».

В середине XVI в. наиболее оснащенным артиллерией в Европе был Московский гарнизон. Кобенцель, посол императора священной Римской империи Максимилиана II, в своем донесении сообщал, что ве-

ликий князь Московский Иван IV имеет в изобилии всякого рода орудия, «а огнестрельный наряд такой, что кто не видел его, тот и не поверит...» У русских всегда наготове не менее 2 000 всяких орудий... Некоторые из них так велики, широки и глубоки, что рослый человек в полном вооружении, стоя на дне орудия, не может достать его верхней части».

В этот период самым знаменитым литейщиком пушек стал мастер Игнатий. Он изобрел короткоствольное орудие – гауфницу (гаубицу), с помощью которого была изменена тактика ведения боя при осаде крепостей.

Одним из наиболее выдающихся литейщиков XVI в. был Андрей Чохов (ок. 1545–1629). Он отливал и колокола, и пушки. Его рабочий стаж на Московском Пушечном дворе превысил 60 лет. За это время он отлил много замечательных пушек, принесших ему мировую славу. Даже первая его пищаль массой 43 пуда меди, изготовленная в 1568 г. (когда он работал учеником у мастера Кашпира Ганусова), более ста лет находилась в составе действующей артиллерии Смоленской крепости. Там же находилось и другое осадное крепостное орудие работы А. Чохова – «Лисица», стрелявшее двенадцатифунтовыми ядрами.

Чоховские пушки «Волк» и «Инрог» принесли успех войску Ивана IV в Ливонском походе и осаде крепости Венден. Об этой осаде летописец Павел Одерборн писал тогда: «Московиты имеют пушку огромной величины и силы, называемую «Волком». Она установлена впереди их лагеря и выбрасывает дротики шестифутовой длины».

Чохов отлил «огненную пищаль» – «Евгуп». Огненные заряды этой пищали зажигались в стволе еще до выстрела. Назначение орудия – стрелять огненными зарядами, которые горят даже в воде.

Когда началась Русско-шведская война (1590 г.), Чохов отлил одно за другим пять мощных стенобитных орудий: «Лев», «Троил», «Аспид», «Скоропея», «Соловей». На формовку и отливку каждого из этих орудий потребовалось более года.

Самым выдающимся произведением Андрея Чохова является созданная им в 1586 г. Царь-пушка (рис. 2.43).

Царь-пушка имеет калибр 89 см, длину ствола 5,34 м, а массу – 40 т. Она могла бы стрелять ядрами массой 120 пудов (2 т), однако ядра, лежащие возле нее сейчас, были отлиты позже, вместе с лафетом для наглядности. В действительности предназначение Царь-пушки – стрельба картечью. Название Царь-пушка получила не в связи с ее размером, а потому, что на ее стволе изображен царь Федор Иванович на коне в полном параде.



Рис. 2.43 Царь-пушка. Работа Андрея Чохова, 1586 г.

Декоративный чугунный лафет пушки был отлит в 1835 г. (равно как и для других пушек, находившихся в Кремле). В 1572 г., когда полчища крымских татар рвались к Москве, все пушки Московского гарнизона, и в том числе Царь-пушка, были приведены в боевую готовность. В 50 верстах южнее Москвы, около селения Молоди, в бою сошлись русские войска численностью 25 тысяч человек под предводительством князей Михаила Воротынского и Дмитрия Хворостинина и 120-тысячная армия крымского хана Девлета I Гирея, включавшая помимо собственно крымских войск турецкие и ногайские отряды. Несмотря на значительное численное превосходство крымско-турецкой армии, она была обращена в бегство и почти полностью перебита. Такой исход сражения был обусловлен преимуществом русских войск в артиллерии. А Царь-пушке тогда и стрелять не пришлось.

Технология литья пушек. До XIV в. пушки не отливали. Их делали подобно тому, как бондари делают бочки. Несколько длинных медных полос соединяли друг с другом с помощью обручей (рис. 2.44). Стреляли такие пушки камнями. В войсках того времени были даже специальные войсковые подразделения, занимавшиеся собиранием булыжных камней.

Технология литья пушек состояла из большого количества операций, и именно поэтому производство особо крупных пушек могло занимать год. Сначала из дерева или из железа вытачивали длинный (по длине ствола пушки) стержень. В поперечном сечении он был либо восьмигранным, либо круглым, а по длине – слегка конусообразным. Этот стержень укладывали концами на две стойки. На толстом конце

стержня вытачивали квадрат, на который надевали вороток. Вращая с помощью воротка стержень, на него навивали соломенный жгут. Затем этот жгут обмазывали несколькими слоями глины. Каждый слой глины сушили на воздухе.

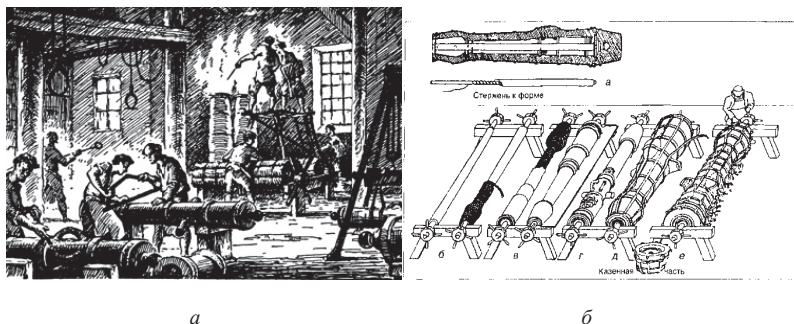


Рис. 2.44. Технология литья пушек: а – производство литых пушек в Москве в XVI в.; б – технология «медленной формовки» пушек

В глиняную массу добавляли шерстяные нити, волос, размолотый сухой конский навоз. На последнем слое глины делали отпечатки украшений или надписей, которые должен был иметь ствол готовой пушки. Так получали модель наружной части ствола (фальшивую модель).

После окончательной просушки модели приступали к изготовлению литейной формы. Модель смазывали салом и растительным маслом и затем наносили на нее несколько слоев жирной глины с добавками волоса и сухого размолотого конского навоза. Каждый слой сушили подолгу. Так изготовляли литейную форму. Толщина формы 200–300 мм. Сало и масло нужны были для образования изоляционного слоя между моделью и формой, а шерсть, волос и навоз, стгоравшие при заливке металла, образовывали каналчики, через которые из формы удалялись газы.

Форму укрепляли поперечными обручами. На них накладывали продольные железные полосы, а последние скрепляли еще несколькими поперечными обручами. Затем выбивали ударами молота стержень с соломенным жгутом и ставили форму вертикально. В пространство, ранее занимаемое стержнем и жгутом, забрасывали поленья дров. Под действием тепла внутри формы изоляционный слой из сала и масла растапливался, а оставшуюся глину обжигали, легко разламывали и удаляли из формы.

Стержень для образования внутренней полости пушки изготавливали так же, как и первый: вращая его на двух стойках, обматывали его

пенькой, обмазывали густым слоем глины и с помощью деревянных шаблонов придавали ему очертания, соответствующие внутренней полости пушечного ствола.

После сушки формы и стержня последний вставляли внутрь формы, точно центрируя его. Затем проводили канавку от печи к форме и пускали по ней расплавленный металл. Такая формовка пушек называлась медленной. Позже она была сменена быстрой формовкой (рис. 2.45).

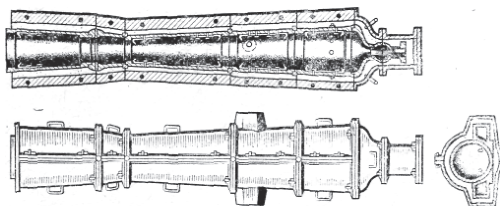


Рис. 2.45. Формовка ствола пушки в опоках (быстрая формовка)

Быстрая формовка появилась в период Великой французской революции, когда республиканцам потребовалось большое количество артиллерии для сохранения завоеваний революции. В 1793 г. Гаспар Монж (1746–1818) ввел новый способ изготовления пушечных стволов, которые стали отливать в двух опоках, укладывая внутрь их пустотелый бронзовый или чугунный стержень для получения полости в стволе. Именно этот способ и называется быстрой формовкой. Новая технология значительно ускорила процесс изготовления пушек, что позволило республиканцам успешно отразить иностранную интервенцию.

Глава 3. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В ПЕРИОД МАНУФАКТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА (XV – конец XVIII в.)

Характерная особенность рассматриваемого периода – распространение во многих странах Европы мануфактурных предприятий. Их возникновение связано с возрастающей ролью ремесленного и товарного производства, обусловивших дифференциацию мелких товаропроизводителей, появление мастерских с наемными рабочими.

Мануфактура пришла на смену феодально организованному ремеслу средневековых цехов. Мануфактуры представляли собой сравнительно крупные капиталистические предприятия. Классик материализма Владимир Ильич Ленин (1870–1924) в своих трудах подробно анализировал различные аспекты развития общества, в том числе и особенности производства в различные исторические периоды. Характеризуя мануфактуру, он отмечал, что:

- 1) мануфактура основана на ручном производстве и на объединении мелких заведений;
- 2) имеет место разделение труда между этими заведениями, развивается оно и внутри мастерской;
- 3) во главе производства стоит торговец, как это обычно и бывает в мануфактуре, предполагающей производство в широких размерах, оптовую закупку сырья и сбыт продукта;
- 4) трудящиеся находятся на положении наемных рабочих, занятых в мастерской хозяина или у себя на дому.

Мануфактура привела к значительному повышению производительности общественного труда и создала предпосылки для развития крупного машинного производства. С мануфактурой связано техническое развитие производства на основе усовершенствования орудий труда, специализации инструмента, применения вспомогательных механизмов и водяной энергии.

Первые мануфактуры возникли в XII в. в Византии, затем в Италии, Франции, Англии, Германии и некоторых других европейских странах. Однако расцвет мануфактурного производства в Западной Европе приходится на XVI–XVIII вв.

К числу широко распространенных мануфактур металлургического профиля следует отнести мануфактуры железоделательные, медедобывающие, металлообрабатывающие, пушечные, колокольные, золотоканительные и ряд других, с которыми неразрывно связано развитие металлургической технологии и технологий обработки материалов.

В странах Западной, Центральной и Восточной Европы шло достаточно интенсивное строительство новых металлургических и металлообрабатывающих заводов. Вплоть до конца XVI в. основными поставщиками металлов в Европе были Швеция и Норвегия, торговали металлом и металлопродукцией также Россия и Австрия. Однако только за период с 1720 по 1796 г. в Англии число доменных печей возросло с 60 до 121, а выплавка чугуна за это время увеличилась с 17 000 до 124 000 т.

Анализ развития мануфактурной промышленности показывает, что железоделательная мануфактура, игравшая важнейшую хозяйственно-экономическую роль в жизни общества, находилась на более высоком техническом уровне, чем производства ранних эпох. Она постоянно была в поле зрения изобретателей, мастеров-новаторов и торгово-промышленных кругов. Именно чугуноплавильные и железоделательные заводы с их специфическим крупномасштабным производством, тяжеловесными слитками и поковками стимулировали развитие технологии, создание новых машин и использование вододействующих двигателей. На примере развития мануфактур отчетливо прослеживаются истоки механизации в черной металлургии, в частности в области разрешения проблемы передачи энергии от двигателя к рабочим машинам. К их числу относятся широко распространенные на металлургических заводах вододействующие молоты, волочильные станы и другие виды оборудования, позволившие решить ряд проблем, связанных с передачей энергетических и трудовых функций человека машине, революционизировать производство. Тем не менее нельзя забывать, что в ряде отраслей металлообрабатывающей промышленности, например на золотоканительных фабриках, гидравлический двигатель и рабочие машины с механизированным приводом применялись редко. Для привода основного производственного оборудования здесь обычно использовалась мускульная сила животных – конные ворота, а часто и мускульная сила людей. Для XVI–XVIII вв. нередки случаи, когда и железоделательные фабрики, удаленные от источников гидравлической энергии, оборудовались конными воротами.

Мануфактура создала предпосылки для дальнейшего развития металлургии, создания новых способов выплавки металлов, разработки качественно новых сплавов и разнообразных металлических материалов, спрос на которые непрерывно возрастал по мере совершенствования техники и появления новых отраслей материального производства. Огромное значение имел переход с одностадийного на двухстадийное производство железа. Это стало возможным благодаря внедрению доменных печей для выплавки чугуна и последующего его передела в фришевалных горнах в железо или сталь. Чугун – это совершенно новый продукт металлургического производства, появившийся в рассматриваемый период, который использовался не только как полуфабрикат для выплавки из него стали и железа, но и как самостоятельный материал с отличными литейными свойствами.

Еще больших успехов позволило достичь создание во второй половине XVIII в. нового способа передела чугуна в железо – пудлингование. Этот способ, значительно интенсифицировавший металлургический процесс, заложил основы для крупных технологических преобразований в черной металлургии конца XVIII – начала XIX в. Примечательной особенностью пудлингования явилось принципиальное изменение процесса обработки крицы: в схему производства была введена операция обжима ее в калиброванных прокатных валках, значительно сократившая трудоемкую обработку крицы под молотом.

Наряду с производством сварочного железа (кричного и пудлингового) в рассматриваемый период появился и нашел практическое применение тигельный способ получения высокоуглеродистой литой стали.

В процессе развития металлургических мануфактур непрерывно совершенствовались техника и технология, шли поиски новых способов обработки металлов. Детищем мануфактуры был прокатный стан, появившийся в производстве в XVI в., намного расширивший возможности металлургической технологии, а также винтовой чеканочный пресс и ряд других технических средств, принятых в XV–XVIII вв. на вооружение в различных металлургических и металлообрабатывающих производствах.

При изготовлении рабочих инструментов для формоизменения металлов использовались различные виды материалов, в том числе высокоуглеродистые литые стали; специальные композиционные металлические материалы, состоящие из слоя высокоуглеродистой литой стали и слоя (основного) сварочного железа, прочно соединенные друг с другом в горячем состоянии ковкой, обычные малоуглеродистые стали (сварочное железо), упрочненные цементацией.

3.1. Новое время

В период, называемый Новым временем (который длится и поныне), человечество впервые осознало, что оно обречено жить в одном историческом пространстве, в пределах одного исторического времени. В предыдущие века ситуация была иной. И разбросанные по поверхности планеты первобытные племена, и мощные государства в достойных восхищения цивилизациях Египта, Междуречья, Индии и Китая, и даже великие Древние Греция и Рим не могли дать современникам представления о всемирном хааактере развития. Взгляд человека на мировое пространство был ограничен соседними странами и полуфантастическими рассказами «бывалых людей» о далеких землях. Конечно, мыслители и ученые и тогда размышляли о единстве мира, но эти размышления были чисто умозрительными, проверить их на практике люди не могли.

Освоение человеком океанского мореплавания приблизило друг к другу страны и народы. Однако это сближение не было добровольным. История сложилась так, что Западная Европа начиная с XV в. осуществила всемирную экспансию (т. е. расширение, распространение влияния), объединив мир под своим владычеством. За счет чего западная цивилизация смогла вырваться вперед? Следует иметь в виду то, что некоторые черты западноевропейского феодализма сильно отличали его от строя, существовавшего в тот же период на Востоке.

В Европе ремесло горожанина четко выделилось в противовес сельскому хозяйству, изделия мастерских обменивались на продукцию крестьянина. Город был не только центром ремесла и торговли, но имел самоуправление, значительно ограничившее власть феодалов. Имелись законы, которые как-то охраняли простолюдина от произвола феодалов, от произвола государства. Были развиты отношения купли-продажи, торговые, другие посреднические отношения. В остальных частях мира правители были полновластны над жизнью и имуществом своих подданных, а место закона занимали их повеления. Ремесленники Востока (часто превосходившие своим мастерством европейцев) работали не на рынок, а обслуживали властителей и их приближенных.

Различалась и общественная мораль тех времен. Если на Западе люди привыкли ставить во главу угла свои права, подкрепленные законом, то на Востоке считалось, что главное – исполнение человеком предписанных ему обязанностей. Для западной цивилизации нормальным явлением стало стремление людей к прибыли, к личной выгоде, и на этой основе развивалась конкуренция и соревновательность во всех

сферах, что было следствием внедрения в широкие массы протестантских ценностей (это и была одна из основных особенностей, отличавших Европу того времени от всего мира). На Востоке подчеркивалась важность интересов семьи, общины, касты, клана, государства. Торговцы и предприниматели не пользовались уважением в традиционных обществах. Поэтому западная цивилизация, которая была «не такой, как все», оказалась более способной к использованию таких качеств человеческой природы, как предприимчивость, желание разбогатеть, более способной к развитию технических достижений. Именно на основе технологического превосходства над остальным миром Запад вскоре развернул свое наступление на море и на суше.

Европейской экспансии способствовали также идеи, развившиеся из гуманизма итальянского Возрождения (XIV–XVI вв.). Собиратели античных рукописей и статуй, поэты и художники, воспевавшие «человеческое в человеке», его энергию, упорство и стремление к счастью, были предшественниками Васко да Гамы, Христофора Колумба, Америго Веспуччи и Джона Кэбота. К сожалению, укоренения действительно человеческих, гуманистических качеств в западном обществе не произошло. При захвате чужих стран и народов европейцы не придавали большого значения гуманизму, зачастую не признавая в покоренных народах людей. Например, даже ирландцы не воспринимались англичанами как люди в силу религиозных и исторических особенностей, что уж говорить о людях другого цвета кожи. Открытие новых земель способствовало наступлению Нового времени. Мир сразу сделался почти в десять раз больше, вместо четверти полушария теперь весь земной шар лежал перед взором европейцев, которые спешили завладеть остальными семью восьмыми его суши. Взгляду европейцев открылся бесконечно широкий горизонт. Техническое превосходство и стремление к прибыли любой ценой были первоначальными факторами, обеспечившими распространение европейской промышленной цивилизации и западных идей по всему миру.



Рис. 3.1. Казнь испанцами последнего правителя инков Тупака Амару (1545–1572)

Однако точкой отсчета Нового времени послужила не эпоха Великих географических открытий. Испания и Португалия, первыми получившие сокровища американского континента и славящиеся пряностями южные острова, были не самыми развитыми странами Европы, и награбленное у покоренных индейцев золото и серебро оседало в руках торговцев и промышленников Нидерландов, Англии, Северной Италии. Именно там сформировались отношения, положившие начало промышленной цивилизации Нового времени, подчинившей вскоре весь мир.

Именно в этих странах стали создаваться первые мануфактуры – ручные производства с разделением труда между работниками. Если ремесленник делал все изделие целиком, от начала до конца, то рабочий мануфактуры выполнял только отдельные операции, доводя свои навыки до автоматизма. В итоге мануфактурное изделие было менее качественным, чем ремесленное, но всегда более дешевым – ведь мануфактуры производили гораздо больше продукции. Дешевые товары хорошо покупались населением, и мануфактурное производство стало быстро вытеснять ремесленное, ремесленники разорялись и превращались в рабочих, кроме того, на мануфактуры стекались массы потерявших землю крестьян, которые тоже вливались в ряды рабочих.

Промышленники и торговцы богатели, и экономическая мощь феодалов, основанная на владении землей, стала падать. Вскоре «буржуа» – так называли новых богачей из простонародья – потребовали расширения своих прав и участия в управлении государством, а феодалы, опиравшиеся на королевскую власть, активно этому противились. В ходе революций 1566–1609 гг. в Нидерландах и 1642–1648 гг. в Англии сопротивление знати было сломлено, и государственную политику, по сути дела, стала определять буржуазия.

Англия превратилась в настоящий экономический локомотив для Европы и мира. Английские пряжа и полотно, обувь и металлические изделия заполнили в XVIII в. рынки многих стран. Британские купцы, банкиры, фабриканты создали политическую систему, основанную на власти парламента, экономический уклад, выросший на рыночных началах, своеобразную культуру и идеологию. Все это – уже неотъемлемая принадлежность эпохи, пришедшей на смену феодализму. Часто именно Английская буржуазная революция считается тем рубежом, с которого начинается отсчет Нового времени. С середины XVII столетия промышленная цивилизация стала распространяться по Европе и другим континентам, между делом разрушая натуральное хозяйство,

низвергая власть королей и императоров, включая народы земного шара в единый процесс мирового хозяйствования.

Однако даже в эпоху промышленного переворота рыночный строй в Европе представлял собой лишь небольшие островки среди огромного океана натурального хозяйства. Чтобы выжить, промышленная цивилизация должна была доказать свое превосходство в борьбе с традиционным аграрным строем Востока и с феодальным укладом, сохранившимся на Западе, и победить их.

3.2. Совершенствование металлургии железа в период мануфактурного производства

Мануфактурная организация производства стимулировала прогресс двухстадийного способа получения железа, ставшего в рассматриваемый период основой железодельной промышленности. Двухстадийный процесс привел к широкой дифференциации профессии металлурга, участию в работе особых специалистов, выполняющих конкретные производственные операции и обслуживающих определенные виды металлургического и металлообрабатывающего оборудования.

Развитие металлургических и металлообрабатывающих мануфактур сопровождалось совершенствованием основных и вспомогательных процессов, созданием более эффективных технических средств. Металлургия была одной из первых отраслей, где наиболее рано начался переход от ручных способов производства к способам, основанным на использовании вододействующих машин и механических устройств. Наиболее интенсивно шло преобразование трудоемких и энергоемких процессов, связанных, в частности, с ковочно-штамповочными производствами, занимавшими в металлургии и обработке металлов ключевые позиции. Именно это обусловило использование еще в период развитого феодализма, с характерным для него ремесленно-цеховым укладом техники, первых кузнечных машин.

Металлургические и металлообрабатывающие мануфактуры XVII и особенно XVIII в. использовали в производстве весь арсенал традиционных и новых способов получения и обработки металлов. Непрерывно возрастающая потребность в металле стимулировала совершенствование технологического оборудования и механизмов, что способствовало повышению мощностей и производительности металлургических агрегатов и машин. Большие изменения произошли в доменном и кричном

производствах. Увеличение рабочего объема доменных печей, кричных горнов и мощностей вододействующих молотов дали возможность изготавливать крупные поковки из сварочного железа. За период с начала XVII до конца XVIII в. масса изготавливаемых криц железа возросла с 24–36 до 50–190 кг, а в отдельных случаях получали крицы еще большей массы.

Устройства с водяным приводом. Напомним, что история гидравлического двигателя неразрывно связана с водяной мельницей – первой простейшей машиной, истоки которой уходят своими корнями в глубины рабовладельческого строя. В период феодализма роль гидравлического двигателя значительно возросла в связи с его распространением в сфере мукомольного производства. Водяные мельницы для помола зерна были широко распространены в средневековой Европе.

К XIII в., т. е. ко времени начала применения водяной энергии для привода механических молотов, уже были конструктивно разработаны системы гидравлических двигателей, в которых водяные колеса, в зависимости от особенностей местности, вида источника энергии и его мощности, могли располагаться на вертикальных или горизонтальных валах. Путем варьирования подачи воды на лопатки гидравлического колеса практиковалось изменение скорости его вращения. Для передачи энергии от гидравлического колеса к рабочему органу (жерновам) применялись цевочные колеса – прообраз современных шестеренных передач.

С введением гидравлических двигателей на металлургических, горных и других предприятиях возникла необходимость в повышении их мощности. Старая система двигателей с нижнебойными (свободными) колесами (рис. 3.2, *а*) уступила место более прогрессивной системе с среднебойными и верхнебойными (верхненаливными) колесами (рис. 3.2, *б*, *в*). Самыми эффективными были двигатели с верхнебойными колесами, позволяющими использовать максимальную силу напора воды. Кроме того, для повышения мощности двигателей стали увеличивать размеры гидравлических колес.

Основными конструктивными элементами рычажного механического молота были: железная или чугунная наковальня, установленная на массивном фундаменте или стуле, и прочное деревянное молотовище, представляющее рычаг, совершающий удар вокруг оси при действии на него кулаков вала гидравлического колеса. В зависимости от рода рычага и того, на какую его точку действовали кулаки, выделяют молоты трех основных типов: лобовые, среднебойные и хвостовые (заднебойные).

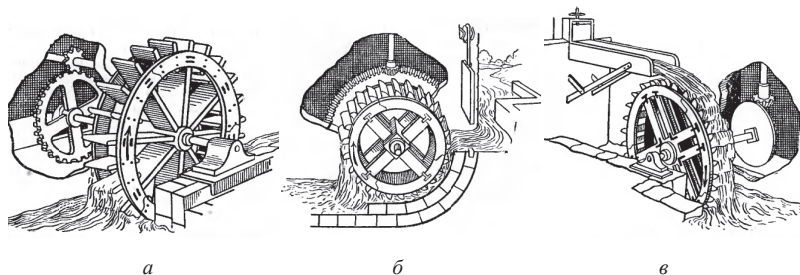


Рис. 3.2. Типы водяных колес: а – свободное, б – среднебойное, в – верхненаливное

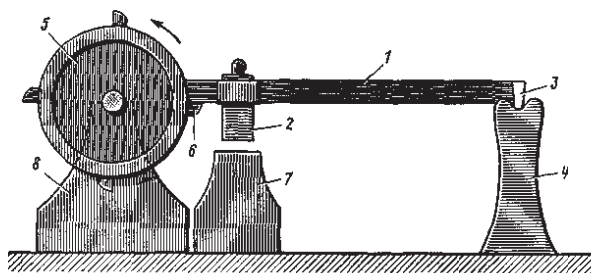


Рис. 3.3. Лобовой механический молот: 1 – молотовище; 2 – голова молота; 3 – ось качения молотовища с опорной стойкой 4; 5 – рабочее колесо с кулаком 6; 7 – наковальня; 8 – упорная стойка рабочего вала

Лобовой молот (рис. 3.3) работал по принципу рычага 2-го рода. На переднем конце рычага или молотовища укреплялась голова молота, а противоположный конец молотовища насаживался на неподвижную горизонтальную ось, которая обычно представляла пятник, служащий точкой его вращения (качения). В процессе работы подъем молотовища с головой молота осуществлялся поочередно каждым из кулаков рабочего колеса с приводом от вододействующего вала. После схода кулака с молотовища следовал рабочий ход: молотовище с насаженной на него головой молота под действием собственного веса устремлялось вниз. Голова молота в результате накопленной кинетической энергии совершала удар по находящейся на наковальне заготовке, производя пластическую деформацию металла. Лобовой молот приводился в действие от вододействующего вала, расположенного перпендикулярно к молотовищу.

Устройство среднебойного молота сходно с конструкцией лобового молота. Отличие состоит в том, что в среднебойном молоте точка

соприкосновения кулака с молотовищем приходилась не на крайнюю его часть, как в лобовом молоте, а на точку, расположенную между осью качения молотовища и головой молота. Другая особенность среднебойного молота состояла в том, что вододействующий вал с кулаками располагался параллельно молотовищу. Принципиальное отличие хвостового молота от лобового и среднебойного состояло, прежде всего, в том, что в кинематической схеме был использован рычаг 1-го рода, в котором точка опоры находится между двумя точками приложения сил (рис. 3.4).

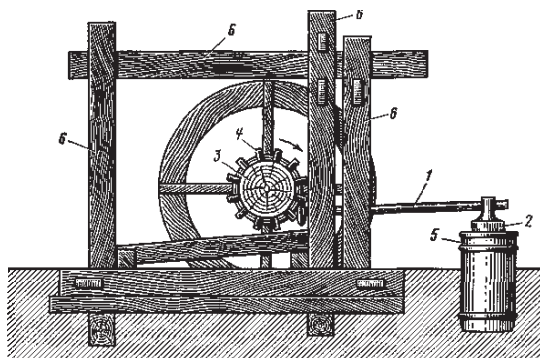


Рис. 3.4. Хвостовой механический молот: 1 – молотовище; 2 – голова молота; 3 – рабочее колесо с кулаками; 4 – наковальня; 5 – элементы конструкции молота

На один конец такого двуплечного рычага – молотовища насаживалась голова молота, а другой его конец воспринимал давление кулаков рабочего колеса с приводом от вододействующего вала. В момент зацепления кулаком «хвоста» молотовища плечо хвостовой части отводилось вниз, а противоположное плечо с головой молота поднималось вверх. После схода кулака с «хвоста» молотовища нарушалось равновесие сил, действующих на двуплечный рычаг. В результате плечо молотовища с головой молота под действием собственного веса устремлялось вниз. Голова молота, падая на помещенную на наковальню крицу, слиток или металлическую заготовку, производила рабочий удар. После этого другой кулак вращающегося вала приходил в зацепление с рычагом, и весь цикл работы вододействующего молота повторялся в том же порядке. Кулачковый вал, приводящий в действие хвостовой молот, располагался перпендикулярно молотовищу.

Хвостовые молоты не потеряли своего значения и в следующем столетии, составляя даже некоторую конкуренцию появившимся в первой половине XIX в. новым высокопроизводительным кузнечным машинам – паровым молотам. Частично это стало возможно благодаря значительному усовершенствованию конструкции хвостовых молотов, а также применению для их привода появившихся паровых двигателей.

Процесс совершенствования вододействующих молотов шел непрерывно под влиянием постоянно расширявшегося производства железа и цветных металлов в различных областях материального производства. С переходом от сыродутного способа получения железа к двухстадийному увеличилась масса и размеры крицы, что позволило более широко использовать железо в новых и традиционных отраслях техники. Одним из крупнейших потребителей железа стало кораблестроение, предъявившее спрос на тяжелые якоря. Их изготовление можно было осуществить лишь при условии технических преобразований кузнечного производства и, в частности, создания мощных механических молотов, усовершенствования их основных узлов и технологии обработки металла.

За период с XIV по XVIII в. мощность молотов возросла примерно в 5 раз (масса падающих частей молотов увеличилась с 80 до 400–450 кг). Это, в свою очередь, поставило задачу повышения надежности конструкций молотов. Для упрочения конструкций молотов основные их узлы стали изготавливать из металла.

В результате подобные усовершенствования процесса обработки металлов дали существенный прирост производительности. Так, если в середине XVII в. на тульских металлургических заводах за день мастер с подмастерьем и работником выделявал одну крицу железа весом от 1,5 до 2 пудов и перерабатывал ее в полосовое железо, то примерно через 100 лет производительность кузнечных работ на отечественных заводах возросла в два раза.

Следует иметь в виду, что водяной привод широко применялся также для механизированного дутья при плавке чугуна, для привода волочильных станков и для множества других технологических операций, требовавших значительных физических усилий.

Применение водяного привода для дутья металлургических печей. На протяжении многих столетий в металлургии железа менялось немного. Использовали простейшую технологию прямого получения железа из руды. Во второй половине первого тысячелетия печи шахтного типа (штюкофены и остмундские печи) начали вытеснять примитивные сыродутные горны.

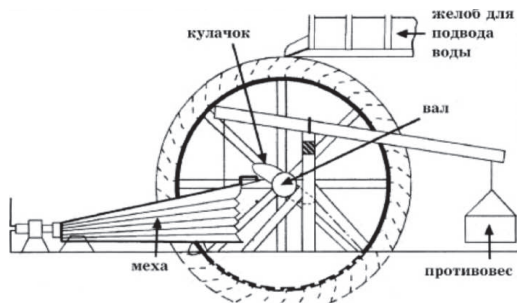


Рис. 3.5. Схема привода от водяного колеса мехов для дутья

Как уже отмечалось, на рубеже XIII–XIV вв. на крупных металлургических мануфактурах Европы для привода воздушных мехов стали постоянно использоваться водоналивные колеса (рис. 3.5). Это позволило увеличить интенсивность дутья и высоту печей, так что они стали достигать 6 м.

К существенным недостаткам сыродутного процесса можно отнести низкую производительность и небольшую степень извлечения железа из руды – около 50 %. Поэтому в дальнейшем стремились повысить производительность посредством увеличения площади поперечного сечения горна и особенно его высоты. Это стало возможным после внедрения вододействующего привода для дутья, что увеличило мощность мехов, позволило вдувать в горн большее количество воздуха под более высоким давлением. Температура процесса повысилась до 1 250–1 350 °С, воздух стал проникать через более высокий столб шихты. Но главное, значительно изменились температурные условия по высоте горна: в верхнюю часть горна попадало меньше воздуха, и его температура понизилась, а в нижней его части температура была значительно выше, поэтому в нижней части горна руда восстанавливалась быстрее. Шлака здесь было мало, и восстановленное железо активно поглощало углерод. Последнее привело к тому, что в сыродутных печах вместе с тестообразной крицей и жидким шлаком начали получать еще и жидкий металл со странными свойствами – он был хрупкий и не поддавался ковке. Сегодня все знают, что это мог быть только чугун – сплав железа с 3–4 % углерода, его температура плавления примерно 1 200 °С.

В результате при плавке железа в горне с механизированным дутьем часто случалось следующее: печь загрузили рудой, начали плавку, а затем

через несколько часов в горне пробили отверстие и начали выпускать шлак, вместе с которым из печи вытекал расплавленный чугун, который презрительно называли «поганый камень», так как никто не знал, что с ним делать. Его английское название «*pig iron*» в переводе означает «свиное железо», что подтверждает малоценность этого продукта для металлургов того времени. В русском языке аналогом этих английских слов является термин «чушка», под которым подразумевается кусок металла, отлитый в изложницу. Русское название металла – «чугун» – считается прямым заимствованием из тюркских языков (входящих в алтайскую языковую группу).

Таким образом, первоначально только конструктивное изменение агрегата привело к проявлению принципиально нового существа процесса – в печах стали получать новый сплав железа с углеродом – чугун.

Металлургические печи, в которых стало возможным выплавать из руд не только кричное железо, но и чугун, получили название «домниц», или «блауофенов».

Благодаря возможности производить в одном агрегате и кричное железо, и жидкий чугун, домницы в некоторых регионах Европы сохранились до конца XIX в. Наиболее трудоемкой операцией при эксплуатации домниц являлось извлечение крицы, сопровождавшееся остановкой дутья и ремонтом кладки горна.

Первые доменные печи представляли собой домницы, переоборудованные для постоянного производства чугуна. Наиболее активно такие печи строились во второй половине XV в. в Италии, Нидерландах, Бельгии. На протяжении XV–XVI вв. конструкция печи непрерывно совершенствовалась и к концу XVI – началу XVII в. доменная печь приобрела вид, представленный на рис. 3.6. В Германии доменные печи долгое время не строили, предпочитая им блауофены.

Выплавка чугуна в доменных печах росла медленно, поскольку конкурентоспособными оставались домницы по следующим причинам:

- затраты на строительство доменных печей существенно превосходили затраты на строительство других металлургических печей;
- в случае применения древесного угля низкого качества доменные печи быстро выходили из строя и требовали дорогостоящего ремонта;
- доменные печи нуждались в наиболее мощном воздуходувном оборудовании.

Таким образом, мы можем проследить развитие доменного производства и повсеместное вытеснение доменными печами других агре-

гатов, применявшихся для экстракции железа из руд. Это произошло после усовершенствования дутьевых средств, сделавших возможным существенное увеличение высоты и производительности печи.

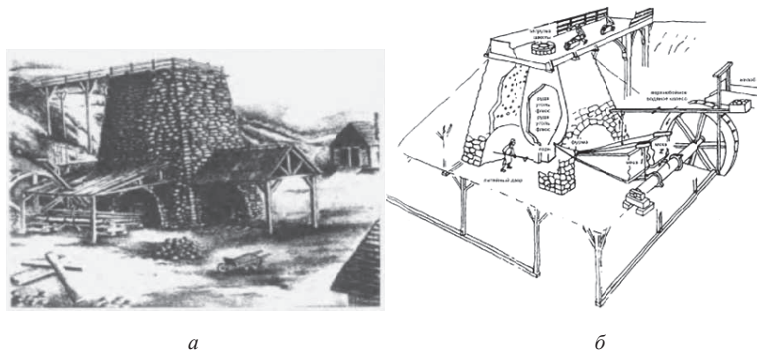


Рис. 3.6. Внешний вид (а) и конструкция (б) доменной печи конца XVI – начала XVII в.

Фришевание (кричный передел) чугуна. С развитием производительных сил потребность в железе все время повышалась. Технология, которая позволяла получать железные крицы в сырродутном горне или шахтной печи, не отвечала потребностям позднего Средневековья.

Перед средневековыми металлургами встал вопрос: возможно ли из литейного чугуна изготовить железо (а из него сталь)? Важно отметить, что теория, позволявшая четко понимать отличия железа и стали от чугуна, была создана на много веков позже, поэтому решение подобной задачи могло быть получено только эмпирическим (опытным) путем.

Очень важным в дальнейшем совершенствовании металлургии железа оказался тот факт, что из чугуна при его переплавке в присутствии воздуха в открытой печи, т. е. в кричном горне, получается ковкое железо. Этот процесс называли фришеванием. Цель его – сделать чугун «здоровым» путем выведения из него нежелательных примесей, главной из которых был углерод.

Поэтому важнейшим технологическим нововведением в металлургии железа позднего Средневековья была технология фришевания чугуна в сталь. Технология появилась на территории Северо-Западной Европы и быстро распространилась. В России фришевание чугуна обычно называли очисткой, или оздоровлением, чугуна, как технический термин устоялся «кричный передел» чугуна.

Технология фришевания заключалась в очистке чугуна при окислительном плавлении, удалении из него избытков углерода и некоторых других примесей (фосфора, марганца, кремния и др.). В качестве горючего при кричном процессе применялся исключительно древесный уголь. В кричном горне чугуны расплавляли и заставляли стекать каплями перед струей вдуваемого воздуха. Кислород воздуха при этом окислял примеси чугуна. Такая операция повторялась до тех пор, пока не получался металл желательного качества.

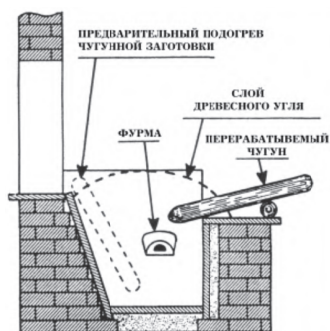


Рис. 3.7. Конструкция кричного горна для фришевания

Как практически осуществляли фришевание чугуна? Вначале чугунную заготовку помещали в кричный горн (рис. 3.7). Кричный (или фришевательный) горн, по данным видного французского металлурга Э. Бушю, служил лишь «для расплавления чугуна и передела его в крицы, способные коваться под молотом; калильный горн предназначен для подогрева криц по мере их проковки».

Образующуюся на полу горна крицу рабочий поднимал ломом к горизонту фурм. Происходило интенсивное выгорание примесей благодаря притоку воздуха. Готовая крица вынималась из горна специальными кочергами и сразу подвергалась обработке ручным молотом на наковальне. В результате металл уплотнялся, одновременно освобождаясь от жидких шлаков. После этого крицу захватывали клещами и переносили к большому вододействующему молоту, где ее окончательно обжимали, придавая металлу достаточно плотную структуру и необходимую пластичность – свойства, которыми обычно обладает добротное сварочное железо. Полученное кричное железо поступало на последующие стадии производства для выделки разнообразных кованых полуфабрикатов и изделий – якорей, уклада, сортового и листового железа, предметов быта и других изделий.

Благодаря новому технологическому звену удалось резко увеличить производство железа. На исходе Средневековья во многих местах, особенно в городских коммунах, железообрабатывающее производство достигло очень высокого уровня. В частности, в этот период возникли и получили распространение чугунное и стальное литье, производство стального листа и проволоки, различные способы обработки поверхно-

стей и другие технологические процессы. Характеризуют этот период выдающиеся по мастерству и художественному наполнению изделия из железа и стали, что свидетельствует о большом шаге вперед, который сделала металлургия железа и технология его обработки.

Переход с одностадийного на двухстадийное производство железа. Для точного понимания технологической революции, произошедшей в черной металлургии Средневековья (переход с одностадийного на двухстадийное производство железа), нам надо ответить на следующий вопрос: чем железо отличается от стали, а сталь – от чугуна?

Современное определение стали – это сплав железа и углерода с содержанием углерода не более 2 %. Чугун – это сплав железа и углерода с содержанием углерода более 2 %. Таким образом, и сталь, и чугун – это сплавы железа с различным количеством углерода.

На первый взгляд, разница в несколько процентов содержания углерода не слишком существенна. Однако это неверно. Изменение содержания углерода в стали даже на 0,1 % приводит к существенному изменению свойств. Так, чистое железо, вообще не содержащее углерода (или содержащее его ничтожно мало), обладает низкой твердостью (вспомним, что чистое железо, получавшееся в сыродутных печах, не могло по твердости конкурировать с бронзой) и очень высокой пластичностью. При этом температура его плавления составляет около 1 500 °С. Такая высокая температура не может быть достигнута в открытом костре или даже в печи с недостаточным снабжением кислородом воздуха (дутьем). То есть расплавлять (и, следовательно, изготавливать отливки) чистое железо в древности просто не могли. Поэтому основным способом обработки сыродутного железа былаковка железных заготовок – криц.

Стали с содержанием углерода до 0,3 % по своим физико-механическим свойствам очень близки к чистому железу. Они также обладают относительно невысокой твердостью и хорошей пластичностью. Вместе с железом они были основным продуктом, получаемым в кричных горнах.

Стали с содержанием углерода 0,3–1,2 % обладают более высокой твердостью, причем с увеличением количества углерода в стали твердость также растет. Поэтому стали с содержанием углерода 0,8–1,2 % достигают такой твердости, что из них можно делать различное оружие и инструмент. Пластичность же стали с повышением в ней содержания углерода все время падает. Так, стали с содержанием углерода более 1 % уже очень плохо поддаются пластической деформации, даже в нагретом

состоянии. Дляковки изделий из таких сталей необходимо прилагать значительные усилия. Наоборот, низкоуглеродистые стали и чистое железо пластичны настолько, что некоторые изделия из них можно выковывать, не прибегая к нагревам, в холодном состоянии.

Эти особенности показывают, что вплоть до получения чугуна единственным литейным конструкционным материалом были сплавы на основе меди и в первую очередь бронзы. Железо же обрабатывали только ковкой.

Чугун, содержащий более 2 % углерода, а в пределе и до 5–6 %, становится не только твердым, но и совершенно теряет пластичность. Причем если в определенных условиях твердость чугуна можно понизить, применяя термическую обработку заготовок, то повысить пластичность не удастся никак. Поэтому в древности (да и в наше время, только в порядке исключения) чугуны никогда не подвергали пластической деформации.

С другой стороны, температура плавления сплавов сильно зависит от концентрации углерода. Так, у сталей температура плавления находится в пределах от 1 400 до 1 500 °С. У чугунов температура плавления может составлять 1 200 °С. Это обстоятельство делает чугун очень хорошим литейным материалом. Однако средневековые мастера, работавшие с железными сплавами только ковкой, долго не могли найти применения чугуну. Им не приходило в голову его отлить.

Тем не менее уже в XIII в. металлурги научились использовать жидкий чугун – они стали заливать его в формы. Отсюда и название этого материала – литейный чугун, в отличие от так называемого передельного чугуна, который подвергался переработке в сталь и железо по технологии фришевания.

С самого начала железного века возникла прямая технологическая цепь: руда – железо. Это был одностадийный процесс. Обычным металлургическим устройством был сыродутный горн, в котором железо получали не в жидком (расплавленном) состоянии, а в виде куска тестообразной, пропитанной шлаком крицы. В результате применения технологии фришевания технологическая цепь усложнилась: не руда – железо, а руда – чугун – ковкое железо, т. е. сталь. Процесс стал двухстадийным (рис. 3.8).

На первый взгляд, этот путь казался более длинным, но вскоре выявилось его преимущество. Больше не нужно было взламывать печи, чтобы извлекать из них куски кричного железа. Достаточно было время от времени пробивать в стенке печи отверстие и выпускать из него жид-

кий чугун, который либо загружали во фришевальную печь (кричный горн), где получали из него мягкую сталь или ковкое железо, либо заливали в формы, используя чугун в качестве литейного материала.



Рис. 3.8. Схемы производства железа: а – одностадийная; б – двухстадийная



Георг Бауэр
(Агрикола)
(1494–1555)

Георг Бауэр (Агрикола). Георг Бауэр родился в саксонском городке Глаухау. Позднее, по распространенному тогда в ученом мире обычаю, принял латинизированное имя Георгий (или Георгиус) Агрикола. Школу он посещал в Глаухау, потом учился в Лейпцигском университете. Георг Бауэр проявил себя рано как очень талантливый человек. В 20 лет он уже свободно владел греческим языком и был преподавателем, а затем проректором и ректором в Цвиккау и в Лейпциге. Здесь он посвятил себя изучению медицины, физики и химии. Затем продолжал учебу в Италии, откуда вернулся доктором медицины. Работал городским врачом в шахтерском городке Яхимов (сейчас принадлежит Чехии).

Живя в шахтерском поселке, он наблюдал за плавкой металла, «чтобы заполнить время в промежутках между искусством заживления», и анализировал то, что было написано о минералогии до него. Занятие филологией и философией приучило его к систематическому размышлению, и это позволило, наблюдая за способами добычи руд и методами их обогащения, построить определенную логическую систему.

В 1530 г. принц Саксонии назначил его своим историографом с ежегодным содержанием, и Агрикола мигрировал в Хемниц, еще один центр горнодобывающей промышленности, чтобы расширить свои наблюдения. Граждане высоко оценили его, назначив городским врачом в 1533 г. В этом же году он издал книгу о греческих и римских весах и измерениях «*De Mensuris et Ponderibus*».

Агрикола трижды занимал пост бургомистра Хемница. Однако он был вынужден оставить свою должность, так как Хемниц был важнейшим центром протестантского движения, а Агрикола никогда не отрекался от римско-католической церкви.

В дальнейшем он полностью посвятил себя науке. Его главные труды посвящены минералогии, кроме того, известны его работы по медицине, математике, теологии и истории. Он заложил основы нескольких наук: минералогии и геологии, горного дела и металлургии; ему принадлежали выдающиеся работы в области истории государства, теории чисел и теории множеств, экономики.

В 1544 г. Агрикола издал труд «*De Ortu et Causis Subterraneorum*», положивший начало геологии.

Это полный и систематический трактат о добыче и металлургической переработке руд, содержащий многочисленные детали, интересные гравюры, иллюстрирующие буквально каждый описываемый процесс – от извлечения руды до плавки металла. Агрикола, делая первый вклад в геологию, разъяснил, как проходят рудные жилы. Он подробно описал разведку рудных жил и их разработку, например промывку руд для сбора тяжелых ценных полезных ископаемых, таких как золото и олово.

И все же главный труд его жизни – опубликованная посмертно монография «*Bermannus sive de re Metallica*» («О металлах») – и другие многочисленные работы свидетельствуют о том, что это был большой, далеко опередивший свое время ученый-энциклопедист и общественный деятель.

Рождение научной металлургии связывают именно с трудами Агриколы и его главным 12-томным сочинением – «О металлах». Первые 6 томов посвящены горному делу, 7-й – пробирному искусству, т. е. способам поведения опытных плавок, 8-й – обогащению и подготовке руд к плавке, 9-й – способам выплавки металла, 10-й – разделению металлов, 11-й и 12-й – различным устройствам и оборудованию.

До Агриколы крупнейшим литературным источником по металлургии и горному делу было сочинение римского ученого Плиния Старшего, однако его труд к XVI в. значительно устарел. Агрикола тщатель-

но переработал информацию Плиния Старшего и построил свою книгу на основании собственных наблюдений. Качество этого труда было таково, что даже в XIX в. книга Агриколы «О металлах» не потеряла актуальности и активно изучалась.

Известно, что Георг Бауэр умер от сердечного приступа во время религиозного диспута в городе, которому он принес такую известность. Религиозные расхождения с горожанами привели к тому, что даже похоронен Агрикола был в кафедральном соборе городка Цейц, расположенном в 50 километрах от Хемница.

3.3. Технологии обработки материалов в период мануфактурного производства

Рассматривая технологии обработки материалов в период мануфактурного производства, можно говорить о принципиальных усовершенствованиях большинства технологических процессов.

Так, в металлургии с созданием технологического пути руда – чугуны – железо (сталь) произошли принципиальные изменения. Чугун оказался весьма дешевым материалом, обладающим хорошими литейными свойствами. Благодаря этому литье чугуна постоянно расширялось. Важным шагом в развитии чугунолитейного производства стало то, что отливку производили не только вблизи домниц, где плавилась железная руда и получали высокоуглеродистый чугун, но и вдали от них в специальных мастерских, где первичный чугун переплавляли в небольших печах. Поэтому появилась возможность организовать чугунолитейные мастерские во всех крупных городах. Дешевизна чугуна по сравнению с бронзой сразу сказалась на количестве изделий, получаемых литьем, расширении их номенклатуры и повышении качества.

Совершенствование литья в земляные, глиняные формы и изобретение литья в металлические формы открыло такие возможности получения изделий из чугуна и бронзы, какие даже трудно было предвидеть. Особенно ярко развитие технологии литья сказалось на производстве литых чугунных пушек. В результате металлургия чугуна и стали, иными словами, металлургия железа, приобрела новые масштабы. Важнейшей областью применения чугунного литья, кроме военных нужд (о которых скажем ниже), было производство печных плит. До сих пор сохранились изумительные по красоте и качеству образцы, изготовление которых требовало не только большого мастерства, но и высокой

технологической дисциплины. Вскоре мастера-литейщики отважились на отливку изделий, очень сложных по конфигурации, – горшков на ножках и с проушинами для подвески, скульптур и других сложных фигур.

Многие ремесленники и мастеровые превратились в искуснейших мастеров своего дела, а изделия, повседневно использовавшиеся в быту, становились произведениями искусства. Проекты печных плит для отливки из чугуна и других изделий, изготавливаемых штамповкой и ковкой, теперь создавались художниками.

Крупный шаг вперед в технике волочения был сделан в результате создания волочильных устройств с вращательным движением тягового устройства. Появление первых волочильных станков с вращательным движением рабочего механизма историки относят к XIV в. Волочильная установка монтировалась на скамье. На одном конце такой скамьи находилась волока, а на другом – деревянный ворот с ремнем или веревкой. К ремню через кольцо прикреплялись клещи, которыми захватывался конец заготовки. При вращении ворота ремень наматывался на его вал (барaban), увлекая за собой клещи с протягиваемой проволокой.

Неизвестно, когда впервые стали применять ручное волочение проволоки на катушки. Одно из наиболее ранних изображений процесса волочения тонкой проволоки на катушки относится к 1527 г. Многие исследователи датируют появление способа волочения проволоки на катушки XIV в. Однако имеется ряд косвенных доказательств того, что этот вид техники появился раньше.

С середины XIV в. в западноевропейском проволочном производстве наметились значительные качественные сдвиги, связанные с использованием для привода волочильных станков водяного колеса и механизацией наиболее трудоемких технологических операций. Однако в условиях цехового производства процесс технического совершенствования шел медленно и коснулся лишь единичных предприятий. Глубокие преобразования в технике волочения металлов произошли позже, в период развития и становления мануфактур.

Большой прогресс был достигнут также в обработке ковкого железа и стали методом горячей деформации. Оснащенные приводом от водяного колеса кузницы поставляли железообрабатывающим мастерским полуфабрикаты и заготовки, что позволило усовершенствовать технологические процессы окончательной обработки.

Например, в Южной Германии уже в середине XV столетия было крупное производство по выплавке и переработке железа с центром

в городе Амберге. Здесь производили железный лист, так называемый черный лист, который вывозили в Нюрнберг и Вунзидель, где подвергали лужению. Покрытый оловом лист – белый лист (или белая жесь) – применяли очень широко (главным образом для покрытия крыш) и высоко ценили. Производство белой жести стало очень выгодным.

Как пример мануфактурного технологического процесса рассмотрим технологию получения луженого железа. Для изготовления листа при помощи молота от кузнеца требовалось большое мастерство. При этом применяли молоты двух видов. Один – плющильный молот с выпуклой рабочей поверхностью – служил для получения листовой заготовки, или первичного листа. Такие заготовки отжигали и затем пакетами по 50 штук (такой пакет называли «клещами») правильным молотом проковывали до требуемого размера, многократно переворачивая. Обычно полученные таким способом листы черной жести имели размер 0,5×0,6 м при толщине около 0,5 мм.

Затем листы поступали в травильное отделение, где их очищали от загрязнений. Это было сырое и душное помещение с низкими потолками, в котором сновали полураздетые рабочие. Основой травильного раствора была забродившая смесь грубомолотой ржи и закваски. Травление вели в несколько стадий в горячем растворе, очень точно соблюдая инструкцию. Однако на этом предварительная обработка листов не заканчивалась.

Далее на наждачных верстаках листы оттирали песком до блеска. В лудильном отделении размещались четыре обогреваемые снизу ванны. Длина, глубина и ширина ванн составляли около полуметра. В каждой было 500–600 кг расплавленного олова, покрытого слоем расплавленного воска. Скрепляя листы специальными захватами, лудильщики пачками по 20 штук погружали их в ванну с оловом на короткое время, затем извлекали, охлаждали, промывали в чанах с холодной водой и помещали в раму. Операцию повторяли несколько раз. Избыточное олово, скапливавшееся на нижней кромке листа, т. е. на кромке стока, удаляли в промывочной оловянной ванне. После лужения и сушки листы направляли в протирочный ящик, где их в смеси мела и отрубей полировали паклей до блеска.

Интересно, что в те времена для доставки листов потребителю использовали бочки. В каждую бочку помещалось несколько сот листов, свернутых рулоном.

Принципиальные преобразования произошли в области обработки металлов резанием.

Станок с ножным приводом, получивший распространение в раннем Средневековье, освободил руку токаря, двигающую лучок, но подвод и отвод резца осуществлялся на глаз. Это существенно понижало точность обработки, и естественно, что в поисках решения токари стали делать специальную опорную площадку, на которую можно было опереть резец (рис. 3.9). Такая площадка увеличивала точность позиционирования резца и позволяла энергичней внедрять инструмент в заготовку, что повышало производительность. Это был прообраз суппорта токарного станка.

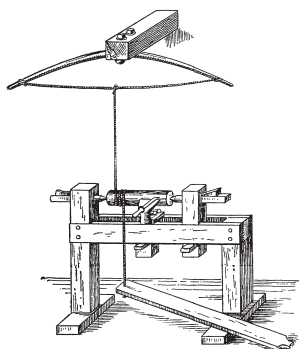


Рис. 3.9. Лучковый педальный токарный станок с опорной площадкой для резца

Однако холостое вращение заготовки (непосредственно соединенной с приводным лучком) и связанный с этим отвод и подвод резца остались. Сохранилась также вредная для качества работы и производительности квалифицированного труда токаря затрата тяжелого физического неквалифицированного труда на приведение станка в движение. Кроме того, прерывистость и неплавность движения привода с лучком или оцепом отражались на качестве изделий. Поэтому следующим после ножного привода крупнейшим преобразованием в конструкции токарного станка явилось отделение привода от станка. Это было сделано на станках, предназначенных для выполнения массовых или сложных работ. Так, на станке впервые появляется специальный приемник энергии – шкив (рис. 3.10). Этот шкив получал энергию с помощью канатной передачи от махового колеса, вращаемого вручную отдельным рабочим (не самим токарем).

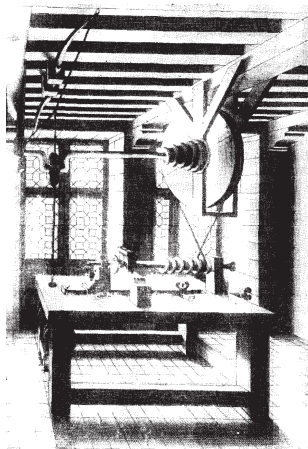


Рис. 3.10. Токарный педальный станок с кривошипом, маховиком и опорной площадкой для резца, 1671 г.

Установка приемного шкива с кривошипом (подобно швейной машинке с ножным приводом) знаменует собой начало новой эры в развитии станка. До этого конструкция станка совершенствовалась крайне

медленно. С установкой шкива токарь был освобожден от обязательного использования своей силы для приведения станка в движение. Сначала, правда, станок приводил в движение другой человек, представлявший собой только источник мускульной энергии. Но станок со шкивом давал возможность полного устранения человека как источника энергии и замены его животными, силой падающей воды или ветра.

Внедрение технологии прокатного производства. Прокатка металлов принадлежит к крупнейшим техническим достижениям рассматриваемого периода. Сущность способа прокатки состоит в обжатии металла между вращающимися валками, придающими изделию требуемую форму и размеры (рис. 3.11, см. также рис. 1.3, *д*).

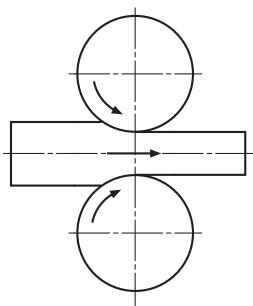


Рис. 3.11. Схема прокатки металлов

Появление прокатки не было случайным, а обуславливалось потребностью производства в равномерных по толщине металлических листах.

До XVI в. единственным доступным способом получения листов была свободная ковка, которую применяли в листовом деле еще античные и особенно средневековые кузнецы. Однако достигнуть ковкой строго определенной толщины листа по всей его площади было нелегко. Эту серьезную техническую проблему удалось успешно разрешить применением прокатного стана с плоскими валками.

Наиболее ранний документ, связанный с историей прокатки металлов, относится к 1495 г. и принадлежит Леонардо да Винчи.

Ученый оставил изображение ручного прокатного стана с плоскими валками и краткое пояснение к нему (рис. 3.12). Прокатный стан предназначался для изготовления «тонких и равномерных оловянных листов». Он отмечал, что валки должны быть изготовлены «из колокольного металла, чтобы они были тверже, и их снабжают железными осями». Согласно рисунку, в прокатном стане Леонардо да Винчи приводным являлся один нижний валок, на оси которого было насажено зубчатое колесо. Передаточные движения прокатному валку производилась через червячную пару массивной рукояткой. До сих пор нет единого мнения о том, является ли изображенный Леонардо да Винчи прокатный стан его изобретением, или же автор дал эскиз заинтересовавшего его технического новшества, уже применявшегося на практике.

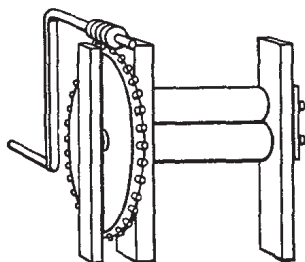


Рис. 3.12. Прокатный стан с плоскими валками Леонардо да Винчи, 1495 г.

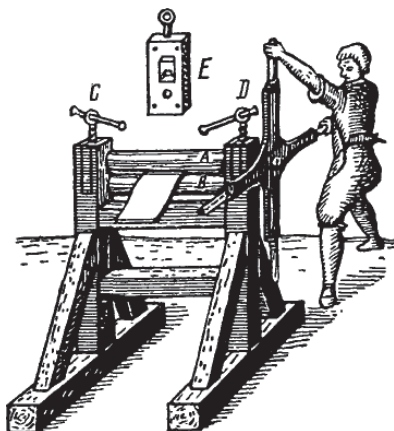


Рис. 3.13. Прокатный стан для изготовления свинцовых и оловянных листов, описание которого дано в работе С. де Косса, 1615 г.

В XVI в. прокатные станы применяются для выделки полуфабрикатов и изделий из олова, свинца, золота, серебра и меди.

Интересные данные, характеризующие технику прокатки, приводит в своем сочинении (1615 г.) французский автор Саломон де Косс. При описании конструкции он говорит об «инструменте, которым выравниваются и сглаживаются оловянные или свинцовые отливки (для дудок органа)». Далее Саломон де Косс так описывает способ изготовления листов на двухвалковом прокатном стане с ручным приводом: «Когда свинец или олово отливается в плиты, то применяют изображенный плющильный станок (рис. 3.13), который устроен следующим образом: *A* и *B* – два длинных железных или латунных вальца, которые должны быть очень ровны и гладки. Ось верхнего вальца *A* проходит

через стойку и с внешней стороны четырехгранна, так что в нее вставляется крестовина, и ею можно вращать стержень с большой силой. Между этими двумя вальцами вставляют одним концом плиту, вращают крестовиной верхний валик кругом и так обрабатывают всю плиту. Ее можно не только сгладить, но и сделать любой толщины, ибо C и D – два винта, которые натягивают на куски лежащего внизу железа и меди для того, чтобы верхний валик ближе прижимался к нижнему, пока плита не сделается желаемой толщины». Последнее обстоятельство особенно примечательно тем, что в этом стане мы видим уже приспособление для регулирования расстояния между вальцами.

В XVI–XVII вв. прокатные станы распространяются на монетных дворах. В первое время преимущественно применялись прокатные станы с ручным приводом. Постепенно происходят изменения в сторону механизации техники прокатки. Для привода используется мускульная сила животных и гидравлический двигатель. Во Франции королевским эдиктом от 27 января 1550 г. разрешается применять на монетных дворах прокатные станы, приводимые в действие конной силой. Подобная система привода была применена, в частности, в Париже на монетном дворе в Лувре. В 1552 г. здесь было установлено новейшее оборудование для чеканки монеты, в том числе ручные прокатные станы, заказанные в Германии.

3.4. Развитие образования и науки в Новое время

Люди прожили большую часть своей истории без книг. Знания от поколения к поколению передавались устно. Когда сложились первые государства, объем и разнообразие знаний стали слишком велики, чтобы их можно было сохранить в памяти. Да и передаваться такие сведения должны были уже не только сородичам или ближайшим соседям. Тогда появилась письменность.

Шумеры, вавилоняне, ассирийцы и многие их соседи писали на глиняных табличках. Материал был дешевым, но из-за размера табличек тексты на них были короткими. Поэтому крупные произведения записывали на большом количестве табличек. Собрания табличек существовали при храмах и царских дворцах. Археологи раскопали библиотеку ассирийского царя Ашшурбанапала (VII в. до н. э.), на полках которой было более 20 тысяч табличек с самыми разнообразными текстами.

Древние египтяне изобрели более удобный писчий материал – папирус, который делали из особым образом обработанных стеблей па-

пируса. Отдельные листы склеивали в длинную полосу – свиток. На таких свитках, достигавших в длину до 100 м, записывали религиозные тексты, сказки, поучения, летописи. Папирус хрупок, поэтому сгибать его листы и сшивать их в тетради было нельзя. Долгое время в странах Средиземноморья папирус был самым распространенным видом писчего материала. В Египте его изготавливали на экспорт.

Все тексты были рукописными. Когда в IX–VIII вв. до н. э. у греков появилось алфавитное письмо, они стали писать на пальмовых листьях, липовом лубе, льняных тканях и даже на свинцовых свитках. Однако главным материалом оставался папирус. Позднее в Риме и Греции стали применять деревянные таблички, покрытые воском. Их широко использовали в школах. Старый текст на воске можно было затереть и нанести новый.

В античном мире грамотность была довольно распространенной. В Греции уже в V в. до н. э. возникла книжная торговля (библиотекой сначала называли книжную лавку). Появились и личные библиотеки, например, у великих философов Платона и Аристотеля. В III в. до н. э. возникла самая известная библиотека древности – Александрийская в Египте. В I в. до н. э. в ней было около 700 тыс. свитков.

Особенно острой потребность в грамотных людях стала в Римской империи. В I в. до н. э. в Риме появились публичные библиотеки с принципом организации, сохранившимся до наших дней – с каталогами, библиотекарями, хранилищем, куда читателей не допускают. Поскольку в тексты при переписке вкрадывались ошибки, их стали сверять, появились редакторы и корректоры, как в современных издательствах.

В начале нашей эры античный мир обрел новый прочный материал – пергамент (по названию города Пергам в Малой Азии, где его производили). Пергамент делали из овечьих, телячьих, козьих и даже кошачьих кож. Материал был прочным, но на изготовление одной книги могло пойти целое стадо. Листы можно было сгибать и сшивать. Сшитые листы образовывали кодекс. Эти кодексы стали вытеснять папирусные свитки.

Пергаментные книги делали очень тщательно и украшали. Традиции изготовления пергаментных книг-кодексов были унаследованы позже Византией и средневековыми европейскими государствами.

В Китае первые записи делали на твердых материалах; первые «книги» – это деревянные или бамбуковые планки, соединенные в связки. С V–IV вв. до н. э. в Китае стали писать на шелке.

Такого материала, как папирус в Европе, в Китае не было. Здесь стали экспериментировать с тем, что мы теперь называем «вторсырьем» – трясью. К нему добавляли волокно конопли и древесную кору,

разминали с водой в чанах, а полученную массу пропускали через прямоугольные сита. На ситах оставался слой, который после сушки становился листом бумаги. В IV в. был издан императорский указ о том, что бумага становится общепотребительным материалом.

Потребность в размножении текстов все возрастала, а возможности переписчиков были ограничены. Поэтому с VI–V вв. до н. э. в китайских монастырях стали вырезать из дерева рельефные тексты и иконы в зеркальном отражении. Смазав их краской, можно было получить большое число оттисков.

В результате совершенствования технологии в Китае пришли к тому, чтобы разрезать книгу на отдельные листики и сшивать их вместе, что фактически было бумажной книгой в современном понимании. Кроме того, в Китае еще в VII–X вв. выходило первое периодическое издание – газета «Столичные ведомости».

В Европе большой ущерб книжному и библиотечному делу принесло падение Римской империи. Но все же грамотность не была потеряна совсем. Центрами книжной культуры стали монастыри, где переписывались богослужебные книги. Каждая книга была произведением искусства. Над ее созданием трудились десятки людей – переписчики, художники, даже ювелиры. Материалом по-прежнему служил пергамент. В результате книги были очень дороги.

Бумага пришла в Европу от арабов. Те, в свою очередь, переняли технологию изготовления бумаги от китайцев. В XIII в. бумагу начали делать в Италии, в XIV в. – во Франции, затем в Германии и Англии. В Голландии для размола сырья для бумаги стали использовать привод от ветряной мельницы. В XIV–XV вв. в Европе изготовление книг вышло за пределы монастырей. Все чаще производством книг стали заниматься ремесленники, а торговлей ими – купцы.

Иоганн Гутенберг (1396–1468) в 40-х гг. XV в. изобрел книгопечатание в Европе. Он первый применил наборные шрифты, состоявшие из отдельных букв-литер, изготовленных из сплава на основе свинца. Страницу текста набирали из отдельных литер, закрепленных на единой доске. На собранную страницу наносили краску из льняного масла и сажи, затем сверху клали лист бумаги и прижимали на ручном прессе – на листе получался оттиск страницы текста.

Технология Гутенберга привела к резкому удешевлению и распространению книг. Грамотность стала цениться все выше. Ремесленники и торговцы старались научить своих детей читать и писать. Стали вновь появляться крупные библиотеки.

В России первая точно датированная книга – «Апостол» – напечатана в 1563 г. под руководством Ивана Федорова (ок. 1520–1583). Это издание подготовлено на печатном дворе, который был основан по приказу Ивана IV (Грозного) в 1553 г. За десять лет выпущено несколько книг без датировок, так что официально первой печатной книгой Московского царства стал «Апостол». Надо сказать, что книги на церковнославянском языке начали печатать значительно раньше, в основном на территории Восточной Европы.

До XIX в. технология печати книг мало отличалась от предложенной Гутенбергом. Промышленная революция изменила книгопечатание. Появилась целая полиграфическая индустрия, возникла механизация и автоматизация процессов изготовления книг. Книги стали доступны всем.

Наше время представляет беспрецедентные по широте возможности для издания и чтения различных книг. Информационные технологии и электронные формы изданий позволяют автору публиковать книги самостоятельно, знакомить с их содержанием людей во всем мире, например, через электронные социальные сети. Изменились и возможности физической печати книг, стали общедоступными принтеры различных конструкций, в которых, конечно, давно не используются литеры и которые покрывают любые потребности человека – от издания для личного пользования до профессиональных печатных машин, позволяющих тиражировать цветные книги в сотнях тысяч и даже миллионах экземпляров.

Средневековое образование. Раннее Средневековье иногда называют «темными веками». Переход от античности к Средневековью сопровождался в Западной Европе глубоким упадком культуры.

Не только варварские вторжения, добившие Западную Римскую империю, привели к гибели культурных ценностей древности. Не менее разрушительным, чем удары варваров, стало для античного культурного наследия враждебное отношение со стороны церкви, особенно в раннем Средневековье. Открытую войну против античной культуры вел Папа Григорий I. Он запретил чтение книг древних авторов и изучение математики, обвинив последнюю в связях с волшебством.

Невежество царило в Западной Европе в V–X вв. Грамотных людей почти невозможно было найти не только среди крестьян, но и среди знати. Многие рыцари ставили вместо подписи крест.

Монастырские и церковные школы представляли собой самые первые учебные заведения Средневековья. И хотя христианская церковь сохраняла лишь выборочные, нужные ей остатки древней образован-

ности (в первую очередь – латынь, которая, кстати, использовалась как язык межнационального общения), именно она продолжала культурную традицию, связывавшую разные эпохи.

Низшие церковные школы готовили в основном приходских священников. Платное обучение велось на латинском языке. Около трех лет требовалось для обучения письму. Ученики упражнялись сначала на покрытой воском дощечке, а затем учились писать гусиным пером на пергаменте. Кроме чтения и письма, учились изображать числа с помощью пальцев, заучивали таблицу умножения, тренировались в церковном пении и, конечно же, знакомились с основами католического вероучения. Несмотря на это, многие воспитанники школы навсегда проникались отвращением к зубрежке, к чуждой им латыни и выходили из стен школы полуграмотными, умеющими кое-как читать тексты богослужебных книг.

С XI в. число церковных школ стало увеличиваться. Немного позднее стремительное развитие городов приводит к появлению светских городских частных и муниципальных (т. е. находящихся в ведении городского совета) школ. Влияние церкви было в них не так сильно. На первый план выступали практические потребности. С XIV в. в некоторых школах преподавание ведется на национальных языках. Растущим городам и крепнувшим государствам требовалось все больше образованных людей. Нужны были судьи и чиновники, врачи и учителя. К образованию все чаще прибегали знать. Пришел черед образования высших школ – университетов. Они возникали либо на основе бывших кафедральных (епископальных) школ (так появился в XII в. Парижский университет, выросший из школы, существовавшей при соборе Парижской Богоматери), либо в городах, где жили прославленные учителя, всегда окруженные способными учениками.

Занятия велись на латинском языке, поэтому немцы, французы, испанцы могли слушать итальянского профессора с не меньшим успехом, чем его соотечественники. На латыни общались студенты и между собой. Однако в быту «чужаки» вступали в общение с местными пекарями, пивоварами, хозяевами трактиров и сдатчиками жилья. Последние не знали латыни и были не прочь обсчитать и обмануть чужеземного школяра. Поскольку студенты не могли рассчитывать на помощь городского суда в многочисленных конфликтах с местными жителями, они вместе с преподавателями объединились в союз, который и назывался «университет» (по-латыни – община, корпорация). Парижский университет включал около 7 тысяч преподавателей и студентов, а помимо них членами союза являлись книготорговцы, переписчики рукописей, из-

готовители пергамента, перьев, чернильного порошка, аптекари и т. д. В долгой борьбе с городскими властями, шедшей с переменным успехом (иногда преподаватели и школяры бросали ненавистный город и переселялись в другое место), университеты добились самоуправления: они имели выборных руководителей и собственный суд. Парижскому университету независимость от светских властей была дарована в 1200 г. грамотой короля Филиппа II Августа.

Преподаватели университетов создавали объединения по предметам – факультеты. Во главе их стояли деканы. Преподаватели и студенты избирали ректора – руководителя университета. Средневековая высшая школа имела обычно три факультета: юридический, философский (богословский) и медицинский. Но если подготовка будущего юриста или медика занимала 5–6 лет, то будущего философа-богослова – целых 15. На занятиях студенты слушали и записывали лекции (по-латыни – «чтение») профессоров и магистров. Ученость преподавателя проявлялась в его умении разъяснить прочитанное, связать его с содержанием других книг, раскрыть смысл терминов и сущность научных понятий. Помимо лекций проводились диспуты – споры по заранее выдвинутым вопросам. Горячие по накалу, иногда они перерастали в рукопашные схватки между участниками.

В XIV–XV вв. появляются так называемые коллегии (отсюда – колледжи). Сначала так называли общежития студентов. Со временем в них также стали проводиться лекции и диспуты. Коллегия, которую основал Робер де Сорбон, духовник французского короля, – Сорбонна – постепенно разрослась и дала свое название всему Парижскому университету. Последний был самой крупной высшей школой Средневековья. В начале XV в. в Европе студенты посещали 65 университетов, а в конце столетия – уже 79. Наиболее громкой славой пользовались Парижский, Болонский, Кембриджский, Оксфордский, Пражский, Краковский университеты. Многие из них существуют и по сей день, заслуженно гордясь своей богатой историей и бережно сохраняя традиции.

Старейший университет на территории Евразийского экономического союза – Гладзорский университет (1282–1338 гг.) в Армении. Первым университетом на территории современной России был основанный в 1544 г. Кенигсбергский университет «Альбертина» в нынешнем Калининграде.

Первым русским высшим учебным заведением стала учрежденная в 1687 г. по указу царя Федора Алексеевича Славяно-греко-латинская академия.



Михаил Васильевич
Ломоносов
(1711–1765)

Целью создания Академии была подготовка образованных людей для нужд России. Академия дала образование не только детям аристократии, государственных и церковных чиновников, но и торговцев, и даже холопов. Первоначально студентов Академии насчитывалось около 100, в начале XVIII в. – 600, а в начале XIX в. – более 1 600. Выпускники Академии – выдающиеся деятели науки, государства, дипломатии, церкви, искусства и культуры, самый известный из которых Михаил Васильевич Ломоносов.

В 1724 г. создан и в 1766 г. закрыт Академический университет в Санкт-Петербурге (действовал как часть Петербургской Академии наук). В 1755 г. по предложению М. В. Ломоносова и фаворита императрицы Елизаветы Петровны И. И. Шувалова был создан Московский университет. Он стал родоначальником подобных учреждений в России.

На протяжении последующих лет высшее образование в России получило большое развитие. Созданы десятки университетов, которые, обладая богатейшей историей, сосуществуют с относительно молодыми университетами и институтами.

Формирование научных институтов. Возраставшее значение естествоиспытателя постепенно осмысливалось обществом, поэтому в Новое время наукой стало возможно заниматься профессионально. До XVII в. наукой занимались представители духовенства, работавшие в университетах, придворные математики и философы. Свои изыскания они вели довольно изолированно друг от друга, основываясь исключительно на мнении древних. В XVII столетии начинают формироваться научные сообщества людей, объединенных общими интересами изучения природы, которые регулярно обменивались мнениями по поводу новых научных результатов. У таких сообществ могли быть различные организационные формы, наиболее важной среди них была академия.

В 1459 г. во Флоренции итальянский философ и гуманист Марсилио Фичино (1433–1499) создал первую академию по образцу афинской академии Платона. Она так и называлась – Платоновская академия – и пользовалась особым покровительством со стороны правителя города Лоренцо Медичи, по прозвищу Великолепный.

После смерти Фичино и изгнания Медичи из Флоренции академия прекратила свое существование, но ненадолго. Уже в середине XVI в.

по проекту Джорджо Вазари (1511–1574), итальянского живописца, архитектора и историка искусства, создана Флорентийская академия, имевшая статус государственной и официально финансирувавшаяся из казны. Эти академии, как и многие последующие, были далеки от задач исследования природы, их членов интересовали в основном классическая литература, история, философия.

Об особом интересе к делу исследования природы заявила лишь основанная в 1603 г. князем Федерико Чези (1585–1630) Римская академия деи Линчеи (Академия рысьеглазых). Настоящий расцвет и слава ждали академию после вступления в нее Галилео Галилея. Это произошло в апреле 1611 г., когда Галилей приехал в Рим, чтобы возвестить о своих выдающихся открытиях в астрономии и убедить Ватикан в справедливости системы Коперника.

Чези считал, что нужно исследовать не отдельные явления природы, а ее устройство в целом. Он понимал, что ему одному своей задачи не выполнить, и мечтал издать энциклопедию, созданную коллективом единомышленников и посвященную системе мироздания. Члены академии Чези не только общались лично, но и первыми широко использовали практику научной переписки.

Так, Галилей, бывавший в Риме лишь от случая к случаю, не мог присутствовать на собраниях в доме Чези и о делах академии узнавал преимущественно из писем. Со временем в большинстве академий появилось и было закреплено в уставе разделение членов на действительных, которые присутствуют на регулярных собраниях, и членов-корреспондентов, участвующих в работе академии посредством переписки.

Академия деи Линчеи носила подчеркнuto светский характер. Некоторые историки даже склонны видеть в ее деятельности определенный вызов Римской коллегии иезуитов – ведущему церковному научному центру. Тем не менее нынешний Ватикан считает Академию деи Линчеи своим учреждением, и во всех официальных документах о Папской академии наук сказано, что она основана князем Чези в 1604 г.

К середине XVII в. в Италии настали не лучшие времена для науки: после суда над Галилеем талантливые ученые стремились отсюда уехать. Тон в науке начали задавать другие страны Европы. Во Франции Жан Батист Кольбер (1619–1683), известный финансист и политический деятель при Людовике XIV, понял, какую практическую выгоду сулит научный прогресс. В 1666 г. он на собственные средства собрал кружок

ученых, громко названный Парижской королевской академией естественных наук. В 1699 г. был принят ее первый устав, а финансирование исследований стало осуществляться из королевской казны.

В Великобритании с 1645 г. существовала неформальная группа ученых Лондона и Оксфорда, назвавшая себя «Невидимый колледж». Среди наиболее знаменитых членов этого кружка были химик и физик Роберт Бойль (1627–1691), математик Джон Валлис (1616–1703), ученый-универсал Роберт Гук (1635–1703).

Самой яркой фигурой среди них являлся, пожалуй, Роберт Гук. Однако расцвет его деятельности совпал с восходом звезды молодого Исаака Ньютона (1643–1727), затмившего всех вокруг себя. Гука связывали с ним сложные и противоречивые отношения, отразившиеся на творческой и личной судьбе обоих. Роберту Бойлю – еще одной значительной личности среди основателей – повезло больше: его творческий взлет пришелся на более ранний период, а работы были полностью независимыми и даже предвосхитили некоторые будущие идеи Ньютона. Самое интересное его изобретение связано не с трудами Ньютона, а скорее с идеями итальянских и французских экспериментаторов: Роберт Бойль усовершенствовал воздушный насос.

В 1660 г. кружок был преобразован в знаменитое Лондонское королевское общество. Возшедший тогда на престол Карл II Стюарт объявил себя поборником точных наук и покровителем нового общества. Его покровительство, однако, оказалось чисто морального свойства, так как никаких денег обществу не выделяли. Но оно немало способствовало росту престижа физических исследований.

Дух новой эпохи наглядно проявился в истории об известном французском астрономе, математике и физике Пьере Симоне Лапласе (1749–1827). В одном из сочинений он изложил созданную им механистическую картину мира. Наполеон Бонапарт, прочитав книгу, спросил Лапласа, где же в его картине место для Бога, на что ученый ответил: «Я не нуждаюсь в этой гипотезе».

Так научное мировоззрение стало определять и материальную сторону жизни, которая все меньше зависела от кустарного производства и все больше опиралась на промышленность. Промышленный переворот, начавшийся в XVIII столетии, возник вследствие очевидной сегодня, но революционной в те времена мысли – технические устройства подчиняются тем же законам, что и явления природы. Механика, созданная в XVII в. прежде всего с целью объяснить движение небесных тел, оказалась очень практичным делом. Мастера могли теперь созда-

вать новые технические приспособления, опираясь на мнение ученых, а не на традиции и интуицию, как было раньше.

Таким образом, во второй половине XVII в. неформальные научные сообщества постепенно уступали место организованным. Затраты на науку все более осознаются как инвестиции, а не меценатство. Наука начинает обретать материальную самостоятельность.

Несколько позже, в 1724 г., возникла Петербургская академия наук. Решением императора Петра I в Петербург было приглашено немало лучших ученых Европы. После этого учреждена Императорская Петербургская академия наук в соответствии с заимствованными из Европы организационными образцами, которая уже в первые годы своего существования совершенно не уступала наиболее сильным академиям Европы.

Научные журналы. Современному ученому, буквально тонущему в море специализированных журналов, издаваемых по всему миру и выходящих не только в традиционной «бумажной» форме, но и в электронном виде, трудно представить себе, что было время, когда обмен научной информацией происходил степенно и неспешно – в ходе переписки между учеными.

Первый научный журнал под названием «Журнал ученых» стали издавать с 1665 г. в Париже (с 1684 г. – в Амстердаме). Помимо статей на его страницах печатались сообщения особого жанра: кто-либо из ученых бросал вызов своим коллегам, предлагая решить какую-нибудь трудную проблему. С 1682 г. эстафету специализированного физико-математического издания подхватил журнал «Труды ученых», издававшийся в Лейпциге на языке научного общения того времени – латыни.

С 1665 г. под попечительством неперменного секретаря Лондонского королевского общества Генри Ольденбурга начали выходить знаменитые «Философские труды Королевского общества» (*Philosophical Transactions*).

В XVIII в. специализированные физико-математические журналы стали выпускать не только национальные академии наук, но и наиболее передовые учебные заведения. Например, в 1795 г. начал выходить (на французском языке) «Журнал Политехнической школы» – орган одного из лучших высших учебных заведений Франции.

В течение полутора веков в научных журналах печатались лишь сведения о новых книгах и выдержки из них, а также хроникальные сообщения. Публикация результатов научных исследований первоначально носила предварительный характер и облекалась в традицион-

ную форму писем. Лишь в XIX в. научные журналы из средства только распространения сведений о новых достижениях стали превращаться в основной инструмент сбора, хранения и распространения научных знаний. К 1-й четверти XIX в. относятся попытки организации библиографического оповещения о журнальных публикациях, которые в начале XX в. приняли современную форму реферативных журналов.

В России первым научным журналом был издаваемый на латинском языке Академией наук журнал *Commentarii Academiae scientiarum Imperialis Petropolitanae* (1728–1751), предшественник современных «Известий Российской академии наук». Основы научно-информационной деятельности в России связаны с именем М. В. Ломоносова. Рефераты на русском языке публиковались в специальном научном журнале – «Краткое описание комментариев Академии наук» (1728), «Содержание ученых рассуждений Академии наук» (1750–1759) и в общих академических журналах: «Примечания к Ведомостям» (1728–1742), «Ежемесячные сочинения, к пользе и увеселению служащих» (1755–1781) и др. Старейший из выходящих до сих пор отечественных научно-технических журналов – «Горный журнал» (издается с 1825 г.).

В настоящее время в мире издается несколько сотен тысяч научных журналов.

Изобретение температурных шкал. Наступило время, когда ученые приступили к исследованию производств, имеющих тысячелетний стаж, когда они начали постигать тайны многих технологических процессов. Наука стала оказывать решительное воздействие на практи-



Андерс Цельсий
(1701–1744)

ческую деятельность человека, способствуя улучшению и совершенствованию сельского хозяйства и промышленного производства, ремесел и торговли, мореплавания и военного дела. Ярким примером, демонстрирующим возрастающую важность науки, является изобретение температурных шкал.

Три известных ученых – Даниель Габриель Фаренгейт (1686–1736), родившийся в г. Данциге (ныне г. Гданьск, Польша), Рене Антуан де Реомюр (1683–1757), родившийся во Франции, и Андерс Цельсий, родившийся в Швеции, – решили примерно в одно и то же время одну и ту же проблему, причем весьма сходным способом.

Все они создали шкалу температур и изобрели термометр. Они были не первыми учеными, пытавшимися измерить температуры, но

у них была новая общая методика. Все трое использовали в качестве точек отсчета температуру плавления льда и кипения воды. Различие температурных шкал заключалось в различном количестве делений этого температурного интервала. Все эти ученые имели универсальное образование, интересовались многими проблемами науки и практики в различных областях деятельности. И неслучайно, что примерно в одно время в разных концах Европы сразу несколько человек независимо друг от друга приходят к изобретению одного и того же.

Почти через 150 лет, в 1848 г., Ульям Томсон (лорд Кельвин) (1824–1907) предложил температурную шкалу, градус которой приблизительно совпадает с градусом Цельсия, но отсчет температуры ведется от температуры абсолютного нуля ($-273,15$ °C). Такая шкала удобна для различных физических исследований, она получила название «шкала Кельвина».

Оптическая микроскопия. Самым знаменитым «микроскопистом» XVII в. является Р. Гук (1635–1703). Гук в каком-то смысле один из «отцов» физики, на счету которого множество открытий и изобретений. Он усовершенствовал часовой механизм и открыл знаменитый закон Гука для напряжений в твердом теле, интересовался оптикой, акустикой и астрономией.

Кроме того, Гук построил микроскоп (рис. 3.14, *а*) и находил такое удовольствие в работе с ним, что в 1665 г. написал книгу «Микрография» о своих наблюдениях, снабдив ее собственными рисунками, один из них воспроизведен на рис. 3.14, *б*. Длина тубуса составляла около 15–18 см, а перемещение объектива можно было осуществлять микрометрическим винтом. Предмет помещался на кончик булавки. Для освещения обычно использовался дневной свет; на рисунке показано, как этот прибор работал при искусственном освещении.

Начиная с XVII в. оптические инструменты постоянно улучшались. Усовершенствованные конструкции, особенно линз, привели к тому, что современные микроскопы несравненно лучше первых приборов. В частности, большой вклад в развитие технологии стекла и конструкции линз внесла Германия, в чем немалая заслуга знаменитых физиков-оптиков Йозефа Фраунгофера (1787–1826) и затем Карла Аббе (1840–1905). Можно сказать, что оптическая промышленность обязана теории больше, чем любая другая отрасль. Здесь теория выступала не только как обобщение практики, но и как путеводная нить. Микроскопия становилась полем деятельности, направленной на создание лучших инструментов и установление оптимальных условий их работы.

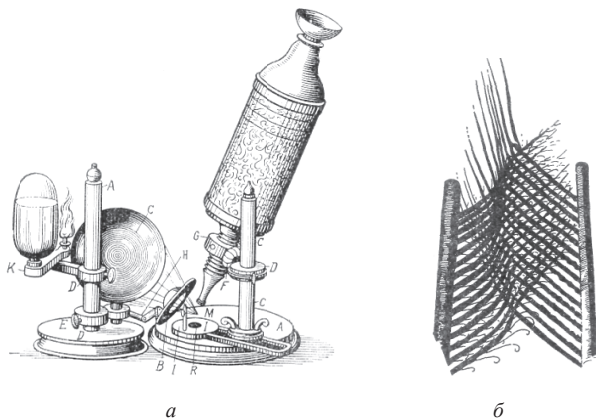


Рис. 3.14. Микроскоп Р. Гука (а) и рисунок пера из книги «Микрография» (б)

В течение многих лет казалось, что микроскопы будут совершенствоваться бесконечно, экстраполяция показывала, что как будто предела разрешения микроскопа (т. е. величины самых мелких деталей, которые еще можно различить) не существует. В конечном счете в теории выходило, что мы могли бы различать отдельные атомы!

Однако экстраполяция всегда опасна; парадоксально, но именно Аббе, сыгравший такую большую роль в усовершенствовании микроскопа, показал, что существует предел его применимости. И связан этот предел не с тщательностью изготовления микроскопа, а с волновой природой света: никакой микроскоп, сколь угодно мощный, не сможет различить деталей, меньших примерно половины длины волны света.

Микроскописты были жестоко оскорблены в своих чувствах; некоторые из них заявили, что их микроскопы позволяют различить детали, меньшие предела Аббе, и поэтому его теория ошибочна. Но они не учли, что теория Аббе не только предсказывает существование предела разрешения, она еще и говорит, что любая видимая в микроскоп деталь, меньшая этого предела, должна быть ложной.

Исследования кристаллов. Геометрически правильная внешняя форма природных кристаллов привлекала внимание мыслителей еще в античные времена. Но основателем современных представлений о кристаллах считается французский ученый Рене Жюст Гаюи (1743–1822).

Он получил церковное образование и в 27 лет был возведен в сан аббата. Только после этого он все более и более серьезно стал отдавать

ся естественно-научным занятиям. В 1784 г. аббат Гаюи ушел в отставку и с этого момента безраздельно посвятил себя исследованию природы.

Центральное место в работе Гаюи занимало изучение кристаллов. Долгое время он стремился вскрыть логическую связь между геометрией внешней формы кристаллов и их внутренним строением. По рассказу его современника, знаменитого естествоиспытателя Ж. Кювье, озарение пришло внезапно, когда, находясь в гостях, Гаюи нечаянно уронил красивый кристалл, и тот разбился на множество мелких кусочков одной и той же формы. В этот момент или несколько позднее Гаюи понял, что кристаллы должны состоять из «элементарных кирпичиков», или «ядер», со своей характерной формой. Раскалывая кристаллы разных веществ, Гаюи пытался выделить «ядра», из которых они были сложены. Форма «ядер» оказалась своей для каждого минерала: в исландском шпате – ромбоэдр, в плавленом шпате – октаэдр, в гранате и пирите – куб, в гипсе – прямые четырехугольные призмы. Соединяя «ядра» в целое, Гаюи сумел в основных чертах объяснить наблюдаемое в природе разнообразие кристаллических форм. Приводимый рис. 3.15 также принадлежит Гаюи и поясняет его модель построения кристалла из «элементарных кирпичиков».

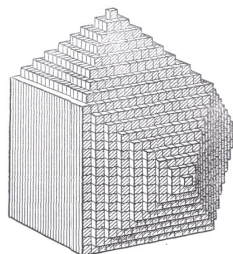


Рис. 3.15. Модель кристалла Р. Ж. Гаюи

Исследуя углы в кристаллах, Гаюи изобрел простой прибор для их измерения – гониометр, которым пользуются до сих пор.

После работ Гаюи идея повторяемости «элементарных кирпичиков» в кристаллах прочно завладела умами ученых. Но вплоть до XX в. не было точного понимания того, чем на самом деле являются «элементарные кирпичики». Поэтому долгое время кристаллография оставалась формальной наукой, исследовавшей свойства периодических структур лишь на бумаге. Только открытие рентгеновского излучения позволило показать, что «элементарные кирпичики» – это атомы или группы атомов.

3.5. Металлургия России в XVII–XVIII вв.

Мануфактурное производство в России. К XIV в. в России выделились такие значительные районы железоделия, как Новгород (Водская пята), Великий Устюг (Устюжина железопольская), Тула с ее

железодельными поселениями, Кашира, Кострома, Серпухов. Немало железных изделий экспортировалось в XIV–XV вв. в разные страны Европы.

Первое государственное мануфактурное литейное предприятие – Пушечная изба – было создано в 1480 г. в Москве для изготовления артиллерийских орудий. Позднее Пушечная изба была преобразована в Пушечный двор, ставший первым крупным пушечным заводом России.

Наглядным примером ранних металлургических мануфактур могут служить доменные и железодельные заводы России, созданные в Тульско-Каширском районе в 30–40 гг. XVII в.

Первыми из них стали Городищенские заводы, построенные в 12–15 верстах от Тулы на реке Большая Тупица, притоке реки Упы. Два завода были доменные, а два – железодельные. В соответствии с выданной царем Михаилом Федоровичем грамотой им было разрешено изготавливать из железной руды различное железо «мелнишным» (вододействующим) заводом, лить пушки и ядра, делать разное железо, ковать из него котлы, доски (листы) и прутья. Официальной датой пуска Городищенских заводов принят 1637 г.

По характеру организации производства Городищенские заводы представляли одно предприятие с единым заводоуправлением. На доменных заводах отливались пушки, ядра, гранаты и чугунные заготовки («штыки»), служившие исходным материалом для передела чугуна в железо. Изготовленные из чугуна пушечные отливки отправлялись для дальнейшей обработки (сверление стволов) на другой завод, а чугунные «штыки» – на железодельные заводы. Как и в любом развитом мануфактурном предприятии, на Городищенских доменных и железодельных заводах существовала соответствующая организация труда с пооперационным распределением рабочих в производстве. Переделом чугуна в железо занимались работники, обслуживающие кричные горны и производившие обработку криц под молотами. Последующие процессы передела сварочного железа основывались на широком использовании кузнечной обработки. На вододействующих молотах кузнецы «тянули» толстое полосовое и связное железо, ствольные прутки и т. п. С учетом производимой продукции осуществлялась специализация в железообрабатывающих производствах.

В России наибольшего расцвета мануфактуры достигли в XVIII в. В начале XVIII в. здесь строятся крупные металлургические предприятия. Особое значение приобретает Уральский горно-металлургический район, где концентрируется фактически основной промышленный по-

тенциал черной и цветной металлургии крепостной России. За период с 1699 по 1750 г. на Урале построено 45 заводов, из которых 22 имели доменные печи, а остальные являлись железодельными. На некоторых заводах было создано, кроме того, медеплавильное производство.

Наиболее известное уральское металлургическое предприятие XVIII в. – Государственный Екатеринбургский завод, спроектированный и заложенный в 1721 г. крупным политическим и научным деятелем петровского времени Василием Никитичем Татищевым (1686–1750). Строительство завода было завершено в 1723 г. русским инженером немецкого происхождения Георгом Вильгельмом (Вилимом Ивановичем) Генниным (1676–1750). Предприятие располагало доменным, передельным и медеплавильным производствами. С организационно-технической стороны Екатеринбургский завод представлял собой высокоразвитое мануфактурное предприятие, при строительстве и оборудовании которого были использованы последние достижения отечественной и западноевропейской металлургии и гидроэнергетики. Предприятие было оснащено мощной гидроэнергетической системой, насчитывающей в общей сложности более 50 вододействующих двигателей. Все основное производственное оборудование и механизмы приводились в движение энергией падающей воды.

На территории Екатеринбургского завода было построено более 40 фабричных и бытовых корпусов. Здесь функционировали фабрики – доменная и литейная с формовой и сверлильной, молотовая (кричная), жестяная, дощатая, колотушечная, якорная, укладная, стальная, плющильная, прорезная, проволоочная, медеплавильная, лудильная (для жести), кузница мелкого дела и др.

В Саксонии в 1719 г. будущий строитель и начальник Уральских горных заводов В. И. Геннин увидел производство железных прутков с помощью плющильных и резательных станков. В усовершенствованном варианте это оборудование было впервые создано и установлено Генниным на плющильной и железорезательной фабриках Екатеринбургского завода в конце 20-х – начале 30-х гг. XVIII в. Такие же машины применялись и на Екатеринбургском монетном дворе для изготовления медных полос, из которых выбивались монетные кружки.

Самой ответственной частью плющильного стана являлись рабочие валки. В. И. Геннин отмечал, что прокатные валки надлежит делать из железа, наваривая на них уклад, после чего их надо «обтачивать равно и платко для того: ежели они будут не равной толстоты, то железо от того плющится косо и негодно. А в Германии видно есть, что такие валики

льютца ис чугуна, однако оные не так надежны, как кованые». Каждый из станов мог служить и плющильным, и прорезным. Достаточно было заменить плоские валки валками дисковыми, как прокатный стан превращался в прорезной. Эта любопытная особенность взаимозаменяемости рабочих органов станов свидетельствует о тщательно продуманной системе конструирования машин и их рациональном применении в производстве. Плющильные и прорезные станы изготовлялись собственными силами. С якорной фабрики поступали прокатные и дисковые валки, шестерни и некоторые другие металлические части машин. Обточку гладких прокатных валков и дисков производила «машинная» фабрика. Общий вес плющильного стана составлял 2 130 кг. Ремонт станов выполняли работающие на них «мастера с подмастерьями и работниками». Мастеру вменяли в обязанность наблюдение и уход за машинами, чтобы «во время работы принуждать и за ними смотреть, чтоб у валов шипы, шестерни и протчее змазывано было салом и маслом чаще...».

Перемены в России в эпоху Петра I. Первый российский император Петр I Великий (Петр Алексеевич) был величайшим государственным деятелем. Путем коренных реформ во всех областях жизни страны ему удалось вывести Россию в ряд передовых держав Европы. Победой под Полтавой над шведами был обеспечен внешнеполитический престиж России. Петр I осуществлял свои реформы железной рукой. Он разрывал традиционные отношения, связывавшие всю общественную жизнь страны, приглашал иностранных ремесленников, открывал школы, поощрял производство и торговлю. Осуществляя свои планы, он действовал последовательно, по русским представлениям, жестко и даже жестоко. Крутые меры Петра I преследовали ясно поставленную цель – европеизировать Россию несмотря ни на что, сделать из страны передовое государство с самым современным политическим и экономическим устройством. Задача эта была тем важнее, что в случае если такое обновление не было бы сделано, то Россия фактически переставала существовать как суверенное государство.

При Петре I получили значительное развитие не только заложенное им крупное судостроение и мореходство, но и другие промышленные производства и ремесла. Особое внимание уделялось горнорудному делу, металлургии, производству оружия. Старейшее и самое крупное оружейное производство было организовано в начале XVIII в. в Туле – центре железнорудной промышленности России того времени, основанном на базе местных железных руд. Здесь по указу Петра I в 1712 г.

был построен первый государственный оружейный завод. Ежегодно на нем изготавливали до 20 тысяч ружей и до 10 тысяч пистолетов.

В 1697 г. было организовано Великое Посольство в Западную Европу с целью найти союзника против Османской империи. В составе делегации под именем урядника Преображенского полка Петра Михайлова находился сам царь Петр I. Союзников найти не удалось, но Великое Посольство завербовало в Россию несколько сотен специалистов по корабельному делу, закупило военное и прочее оборудование.

В поездке Петр много времени посвящал изучению кораблестроения, военного дела и других наук. Петр поработал плотником на верфях Ост-Индской компании, при участии царя был построен корабль «Петр и Павел». В Англии посетил литейный завод, арсенал, парламент, Оксфордский университет, Гринвичскую обсерваторию и Монетный двор, смотрителем которого в то время был Исаак Ньютон. Петра интересовали прежде технические достижения стран Запада, а не правовая система. Посетив инкогнито английский парламент, где ему перевели выступления депутатов перед королем Вильгельмом III, царь сказал: «Весело слышать то, когда сыны отечества королю говорят явно правду, сему-то у англичан учиться должно». На обратном пути Петр I направился в Вену, но отсюда ему пришлось срочно ехать в Москву для подавления Стрелецкого бунта.



Петр I Великий
(1672–1725)

Результатом путешествия царя явилось, в частности, переселение в Россию большого числа ремесленников, художников и ученых. Многих из них Петр лично уговаривал покинуть родину и обрести ее в России. В это же время Петр I издал указ, по которому сыновья из обеспеченных и богатых семей должны были выезжать за границу для изучения ремесел, чтобы по возвращении домой употребить их на благо Русского государства. Можно лишь поражаться тем переменам, какие удалось внести Петру I в жизнь страны всего за несколько лет.

Большое развитие получила металлургия железа. Если в начале правления Петра I в стране существовало лишь весьма скромное железоделательное производство, покрывавшее незначительные собственные потребности страны, то к концу его в России насчитывалось более

двухсот металлургических и железоперерабатывающих заводов, причем на некоторых из них работало до 3 000 рабочих.

С 1700 по 1800 г. только на Урале было построено 123 железоделательных завода. Русское железо помогло стране построить огромное количество предприятий. К концу жизни Петра их насчитывалось 233, а к концу XVIII в. – свыше 3 100, не считая горных заводов. Производство чугуна в России за это время увеличилось со 150 тысяч пудов (1700 г.) до 9,91 миллиона пудов (1800 г.). Победа русской металлургии над шведской была не менее значительной, чем победа русской армии во главе с Петром I над шведами в 1721 г. Если в XVII в. основным поставщиком железа в Европе была Швеция, то в XVIII в. им становится Россия. Так, в 1716 г. в Англию была вывезена первая партия русского железа в количестве 2 200 пудов, а в 1732 г. вывоз железа уже превышал 200 тысяч пудов.

В 1722 г. Петр I издает указ, который, по сути дела, дает первые технические условия на железо, обеспечивающие его высокое качество: «Его Императорское величество указал послать из Берг-коллегии на все железные заводы, где железо делается, чтоб с сего времени железо пробовали сим образом, и отпускали в указанные места, и продавали со следующими знаками:

Первая проба: вкопать круглые столбы толщиной в диаметре по шести вершков в землю так далеко, чтобы оное неподвижно было, и выдолбить в них дыры величиною против полос, и в тое диру то железо просунуть, и весть кругом того столба трижды, потом назад его от столба отвести, и ежели не переломится, и знаку перечного не будет, то на нем сверх заводского клейма клеймить № 1.

Вторая проба: взяв железные полосы бить о наковальню трижды, потом другим концом обратя такожды трижды от всей силы ударить, и которое выдержит, и знаку к перелому не будет, то каждое сверх заводского клейма заклеить его № 2.

На последнее, которое тех проб не выдержит, ставить сверх заводских клейм № 3. А без клейм полосного железа отнюдь чтоб не продавали».

Долго еще после петровского указа качество стали оценивалось по числу «загибов». Пружинная сталь делалась в шесть «загибов», монетная – в восемь, инструментальная и дамасская – в двенадцать. За нарушение своих указов царь спрашивал строго. Указом от 11 января 1723 года он повелевал: «...Ружейной канцелярии из Петербурга переписать в Тулу и денно и ночью блюсти исправность ружей. Пусть дьяки

и подьячие смотрят, как альдерман клейма ставит. Буде сомнение возьмет, самим проверять и смотром и стрельбою. А ружья каждый месяц стрелять, пока не испортятся. Буде заминка в войске приключится, особливо в сражении, по недогляду дьяков и подьячих... старшего дьяка отдать в писари, подьячего лишить воскресной чарки сроком на год».

Таким образом, именно при Петре I в России возникло много мануфактур, в том числе горно-металлургических предприятий, широко развернулись работы, связанные с освоением новых месторождений полезных ископаемых, строительством заводов по производству и обработке железа и цветных металлов на Урале, в Олонецком крае и ряде других областей страны.

Следует подчеркнуть, что по темпам развития металлургической промышленности Россия обогнала все европейские страны, в том числе передовую в техническом отношении Англию. Уже к 1731 г. русская металлургическая промышленность превзошла металлургическое производство Англии. Россия из страны, ввозящей сварочное железо, превратилась в страну, экспортирующую металл в Англию и другие европейские государства.

Династия Демидовых. Развитие металлургии чугуна и стали в России тесно связано с семьей Демидовых. Отец Никиты Демидова, родоначальника рода Демидовых – Демид Григорьевич Антуфьев, происходил из государственных крестьян. Он приехал в Тулу из отдаленного села, чтобы заняться кузнечным делом, и с 1672 г. был кузнецом при тульском оружейном заводе. Соответственно, фамилия Демидов изначально представляла собой отчество.

Из троих его сыновей – Никиты, Семена и Григория – самым предприимчивым и энергичным оказался старший сын – Никита. Никита Демидов (1656–1725), сын простого кузнеца и сам кузнец, сопровождал Петра I в его путешествии по Европе. Как простому кузнецу удалось заручиться благосклонностью юного царя, достоверно не известно. Есть мнение, что искусно приготовленные им образцы ружей понравились Петру, который сделал его поставщиком оружия для войска во время Северной войны. Так как поставляемые Никитой Демидовым ружья были значительно дешевле зарубежных и одинакового с ними качества, то Петр в 1701 г. приказал отмежевать в его собственность лежащие около Тулы стрелецкие земли, где находился Невьянский завод с несколькими доменными и подовыми печами, а для добычи угля дать ему участок в Щегловской засеке. Обязанностью Демидова было ежегодно поставлять государству пять тысяч пудов прутковой стали по цене 30 копеек за пуд.

В 1702 г. ему были отданы Верхотурские железные заводы, устроенные на реке Нейве еще при царе Алексее Михайловиче, с обязательством уплатить казне за устройство заводов железом в течение 5 лет и с правом покупать для заводов крепостных людей. В грамоте от того же года Никита Демидов наименован Демидовым вместо прежнего прозвища Антуфьев. В 1703 г. Петр приказал приписать к заводам Демидова две волости в Верхотурском уезде. С 1716 по 1725 г. Демидов построил четыре завода на Урале и один на реке Оке.

Никита Демидов получил право предоставлять убежище беглым преступникам. Они становились его собственностью – крепостными. Это был не единственный метод приобретения рабочей силы для металлургических заводов и горнорудных предприятий. В 1723 г. Петр I своим указом разрешил горнорудным и металлургическим предприятиям покупать целые деревни со всем их населением. При этом из «гуманных» побуждений было запрещено продавать крепостных поодиночке, а велено продавать только вместе с семьями или целыми деревнями.

Демидов был одним из главных помощников Петра при основании Петербурга, жертвуя деньгами, железом и т. д.

Никита Демидов построил доменную печь высотой в сорок четыре фута и одиннадцать дюймов. По тем временам это была крупнейшая печь в мире. Работая на прекрасной местной руде, этот «монстр» ежедневно выдавал 800–900 пудов чугуна.

Сын Никиты Демидова, Акинфий Никитич (1678–1745), с 1702 г. управлял Невьянскими заводами. Для сбыта железных изделий с заводов он восстановил судоходный путь по реке Чусовой, открытый еще Ермаком и потом забытый, провел несколько дорог между заводами и основал несколько поселений по глухим местам вплоть до Колывани (современная Кемеровская область), построил 9 заводов и открыл знаменитые алтайские серебряные рудники, поступившие в ведение казны. Он же принимал меры для разработки асбеста, или горного льна, и распространял вместе с отцом добычу и обработку малахита и магнита.

В 1726 г. Демидов вместе с братьями и нисходящим потомством возведен в потомственное дворянское достоинство.

Сын А. Н. Демидова – Прокофий (1710–1786) – был одним из значительнейших общественных благотворителей. На пожертвованный им миллион рублей основан Московский воспитательный дом. Им же учреждено Петербургское коммерческое училище, на которое он пожертвовал 250 тыс. рублей.

Дальнейшие потомки Никиты Демидова на протяжении всей истории дома Романовых были крупными предпринимателями и аристократами. Среди них были государственные деятели, военные, ученые. При этом общей чертой рода в конце XVIII в. и на протяжении всего XIX в. была благотворительность.

3.6. Развитие металлургии Англии в XVII–XVIII вв.

Династия Дерби. В Англии XVII в. острым вопросом была проблема топлива для металлургических печей. Для всех процессов в металлургии использовался древесный уголь. Деревья не могли расти так быстро, как их вырубали. Поэтому, несмотря на непрерывно растущую потребность в металле, производство чугуна и стали в Англии сокращалось, что приводило к необходимости закупать металл в других странах.

На этот период приходятся первые попытки использовать каменный уголь вместо древесного. Воплотить идею использования в доменной печи каменного угля пытались многие. Но удалось это только одному человеку. Речь идет об Абрахаме Дерби (1678–1717). Ему было суждено стать основателем династии металлургов, занимающихся производством чугуна и стали.

В 1699 г. Абрахам Дерби вместе с тремя единоверцами (он принадлежал к протестантской ветви квакеров) основал в Бристоле собственное дело по строительству мельниц. Женился он на дочери своего мастера и учителя, и тот поддерживал его во всех делах и начинаниях, поэтому вскоре дело пришлось расширять. Вначале Абрахам направился в Нидерланды, чтобы изучить мельничное строительство в стране «классических» мельниц. Он обосновался в северных провинциях Нидерландов, где ему удалось тщательно изучить всю техническую сторону этого дела.

Дерби при поездке в Гриведж, в деревеньку близ Льежа, посетил чугунолитейный завод. В основном здесь отливали кухонную утварь. Все литые изделия, которые он здесь увидел, – горшки, котлы, ящики, кухонные плиты и др. – были превосходного качества. Впечатление было настолько сильным, что Абрахам выразил желание как можно скорее создать подобное производство в Англии. Хозяин завода на это возразил, что для этого необходимы подходящая железная руда и хороший древесный уголь, который в Англии в большом дефиците.

Абрахам Дерби знал о печальном положении английской металлургии железа, которая уничтожила уже почти весь лес, и о том, что до сих пор многочисленные попытки заменить древесный уголь каменным не увенчались сколько-нибудь значительным успехом.

Тем не менее несколько лет спустя Дерби вернулся на родину и приступил к постройке нового завода. Среди рабочих, занятых на строительстве, был некий Джон Томас, занимавшийся ранее выпасом овец. По окончании строительства Дерби назначил Джона Томаса своим доверенным лицом и поручил ему управление производством.

Для литья горшков и котлов в те времена применяли глиняные формы, изготовление которых было очень трудоемким, а полученные чугунные изделия оказывались слишком толстостенными (грубыми). Томаса это не устраивало, и он принялся искать другой путь. Решение оказалось довольно простым. Он предложил Абрахаму Дерби изготавливать эти формы из смеси песка, глины и воды по специально подготовленным моделям. Во-первых, это быстрее, во-вторых, намного дешевле, в-третьих, качество отливок резко повышается. Горшки, полученные таким методом, были тонкостенными, изящными и при этом могли быть очень большого размера, что было невозможно в глиняных формах.

Дерби сразу оценил преимущество предложения Томаса. Они проанализировали различные варианты и после основательной подготовки начали тайные эксперименты, которые принесли успех. В итоге Абрахам Дерби подал заявку на патент, который и был ему выдан в апреле 1707 г. В нем говорилось: «Учитывая, что наш верный и любимый Абрахам Дерби, житель нашего города Бристоля, кузнец, на основе своих научных знаний, усердия и опытов изобрел и освоил способ отливки горшков и других выпуклых изделий в песчаные формы... благодаря чему горшки и другие изделия получают лучше по качеству и внешнему виду, легче по весу и дешевле, чем при изготовлении обычным способом, мы предоставляем названному Абрахаму Дерби все права и единоличную привилегию на изготовление таких горшков и других подобных изделий, а также продажу их в течение 14 лет, начиная с этого дня».

Тем временем продолжался поиск решения для замены древесного угля каменным. Абрахам Дерби был убежден, что прямое использование каменного угля в доменной печи не имеет смысла, так как содержащиеся в каменном угле примеси необратимо портили выплавленный металл. Поэтому каменному углю необходима предварительная обработка.

Вблизи завода Абрахам Дерби обнаружил выходящий на поверхность пласт каменного угля, который можно было добывать без особых затрат. С этим углем он начал свои эксперименты. Каменный уголь нагревали без доступа воздуха в специальных емкостях или кучах (кострах), как и древесину при получении древесного угля. Однако успех долго не приходил.

И все же однажды Дерби и Томасу удалось получить нечто похожее на кокс, который они смешали с древесным углем и загрузили в доменную печь вместе с железной рудой. Процесс коксования каменного угля постигся постепенно. Детали его отрабатывали в повторных опытах, которые по тщательности были настоящими исследованиями. Вскоре «производство» возросло настолько, что появилась возможность увеличивать его долю в доменной шихте. Уже через несколько месяцев в шихту добавляли очень немного торфа и древесного угля. Основным топливом был каменноугольный кокс.

К несчастью, вскоре Абрахам Дерби скончался от сердечного приступа.

Прошло 13 лет, прежде чем Абрахам II Дерби (1711–1763) принял на себя управление заводом. Всеми делами в течение этого времени ведал один из его дальних родственников, прежде всего заботившийся о собственной выгоде, а не о благополучии молодой вдовы и двух ее сыновей.

Чтобы окончательно не разориться, семья Дерби была вынуждена продать некоторую часть своего дела богатым гражданам города. Джон Томас хотя и продолжал работать в Коулброкдейле, но влиянием на заводе не пользовался. После смерти своего старшего друга и благодетеля ему не оставалось ничего другого, как заботиться о сохранении высокого качества литых изделий Коулброкдейла.

День, когда девятнадцатилетний Абрахам II пришел на завод и взял бразды правления в свои руки, оказался для Томаса одним из лучших в его жизни. Юный Абрахам и Джон Томас снова соорудили костры и продолжили опыты по коксованию каменного угля. Когда был получен кокс удовлетворительного качества, приступили к опытным плавкам.

В результате они получили первый чугуны, выплавленный без применения древесного угля – на одном каменноугольном коксе. Оказалось, что изделия из чугуна на каменноугольном коксе ни в чем не уступают изделиям из чугуна на древесном угле. Произошло это в 1735 г.

Абрахам II Дерби заключил выгодный контракт на отливку цилиндров для паровой машины Ньюкомена, предназначенной для откачки воды из угольных шахт. Вплоть до изобретения и внедрения в промышленность

паровой машины Джеймса Уатта спрос на атмосферные машины Ньюкомена непрерывно возрастал, а цилиндры к ним поставлял Абрахам П Дерби из своего литейного цеха в Коулбрукдейле. В 1763 г. он умер; его старшему сыну Абрахаму III Дерби (1750–1789) к этому времени исполнилось тринадцать лет, и он еще не мог взять на себя дела отца. Казалось, история повторится. Снова, как и поколение назад, управление поручили родственнику – дяде Абрахама III. Но на этот раз семье Дерби повезло больше.

Ричард Рейнольдс был честным и порядочным человеком. Ему были чужды махинации в стиле своего предшественника, хотя свои интересы он строго соблюдал. Рейнольдс позаботился о том, чтобы дать хорошее воспитание племяннику и во всем старался быть для него товарищем и другом. По окончании Семилетней войны, в которой прямо или косвенно участвовали все главные европейские государства, в черной металлургии начался спад. Количество заказов на литье из Коулбрукдейла стало уменьшаться и к 1766 г. достигло минимума. К этому времени литьем хозяйственной утвари в Коулбрукдейле занималась не только семья Дерби, появились и другие литейные заводы. В результате конкуренция резко возросла. Именно в такой ситуации управление делами перешло к Ричарду Рейнольдсу.

Для транспортировки кокса, флюсующих добавок и руды на территории, прилегавшей к заводу, были проложены дощатые мостовые. Их легко переносить, а это было необходимо довольно часто по мере смены мест добычи руды, каменного угля, а также площадки для коксования угля. Ричард решил упростить транспортировку, уложив на бревна вместо досок чугунные рельсы, отлитые здесь же, на заводе. Эффект оказался намного больше, чем предполагалось. Почти ежедневно Рейнольдс принимал посетителей – владельцев шахт и заводов, которые хотели увидеть эту «железную дорогу». Всех их Ричард Рейнольдс лично сопровождал при осмотре. Энергично жестикулируя, он объяснял заинтересованным слушателям суть новшества. Впрочем, преимущества чугунных рельсов были настолько очевидны, что особых объяснений и не требовалось. Практически все посетители тут же заказывали рельсы для себя, и производство их превратилось в главную статью доходов. Спрос на «железную дорогу» непрерывно возрастал; и даже значительно позже, когда другие владельцы литейных заводов начали отливать рельсы, коулбрукдейльский завод не испытывал недостатка в заказах.

Наряду с чугуном хорошим спросом пользовались ковкое железо и сталь из Коулбрукдейла. Эти материалы продолжали выплавлять (методом фришевания) только с использованием древесного угля. Многие

тщетно пытались изменить технологию и использовать каменный уголь. Однако долгое время попытки были безрезультатными: получался только нековкий и очень хрупкий чугун. Тем не менее для доменной печи эту проблему (применение каменного угля вместо древесного) решили, но полностью отказаться от древесного угля еще было нельзя: он был необходим для фришевания. Можно ли и здесь использовать каменный уголь? Возникла новая проблема. Разрешима ли она? На этот раз судьба улыбнулась человеку по имени Генри Корт.

Технология пудлингования стали. Генри Корт (1740–1800) родился в Ланкастере. Его отец был, видимо, мелким строительным подрядчиком, хотя и сам работал каменщиком и строителем. Генри рано покинул родной город и перебрался в Лондон, где устроился судовым агентом. Дела шли отлично, вскоре он сколотил небольшое состояние. Женился Генри на красивой и богатой девушке, и все, казалось, должно было быть еще лучше. Но вышло иначе.

Будучи судовым агентом, Генри Корт снабжал Морское ведомство и товарами черной металлургии. Хорошие железо и сталь в то время поступали в Англию из Швеции и России. Английская прутковая сталь была настолько плохой, что ее исключили из государственных поставок. В этих случаях иностранные поставщики получали максимальную прибыль, продавая товар по сверхвысоким ценам. Они считали, что им нечего опасаться конкуренции со стороны английских металлургов, поэтому чувствовали себя вполне уверенно. Однако Генри Корт думал иначе, вполне возможно, что тому способствовали высокие доходы, получаемые иностранными поставщиками. И Корт решил организовать производство высококачественного ковкого железа, или низкоуглеродистой стали, в собственной стране.

Мысль об этом не давала ему покоя. Кончилось тем, что Корт начал посещать различные английские заводы черной металлургии, чтобы ознакомиться с производством. Часами он простаивал перед фришевальными кричными горнами, наблюдая, как плавится чугун, стекая по каплям вниз на под печи. В процессе стекания вдуваемый воздух окислял примеси в металле, фришеввал («оздоравлил») хрупкий нековкий чугун, в результате чего получалось насыщенное шлаком ковкое железо, т. е. крица. Часть этого шлака «выгоняли» молотами. Работа была тяжелой и очень трудоемкой.

Процесс фришевания требовал много времени, большого опыта и умения. Кроме того, необходим был древесный уголь, а его становилось все меньше, соответственно повышались и цены на этот уголь.

Таким образом, перед Генри Кортom стояла двойная задача. Во-первых, улучшить качество английской прутковой стали, чтобы она не уступала иностранной, и, во-вторых, разработать способ фришевания чугуна с использованием каменного угля.

Первые опыты Генри Корт проводил тайно. Никто не знал о них, а сам Генри Корт об этом умалчивал, не отвечая даже на прямые вопросы. Однако можно с уверенностью утверждать, что результаты первых же опытов были положительными, так как уже в 1775 г. Генри навсегда оставил доходное дело судового агента. Вместе с семьей он уехал из Лондона и поселился в Портсмуте. В северо-западной части порта Генри построил собственный металлургический завод с кузнечным и прокатным цехами. Здесь он и решил двойную задачу.

Дело в том, что при попытках фришевать чугун на каменноугольном коксе (который тогда использовали для плавки чугуна в доменных печах) он насыщался вредными примесями, главным образом серой. В результате полученный продукт был непригодным для какого бы ни было использования.

Идея Корта заключалась в том, что для получения из чугуна чистого в отношении примесей серы железа надо организовать процесс так, чтобы чугун не соприкасался с коксом во время плавки. Для этого в 1784 г. Кортom была использована кардинально усовершенствованная отражательная печь, отапливаемая каменным углем (рис. 3.16), предложенная в 1766 г. братьями Т. и Д. Кранедж.

Этот процесс позволял получать крупные железные крицы в пламенных (отражательных) печах, отапливаемых коксом. В такой печи пламя отражается от свода и сам кокс с металлом не контактирует. В результате взаимодействия жидкого чугуна с окислительным шлаком и кислородом воздуха на поду отражательной печи получали тестообразное железо, или низкоуглеродистую сталь, которую накачивали на шуровку и вытаскивали из печи. Этот продукт также стали называть крицей.

Еще одним достоинством изобретения Г. Корта, позволившим существенно повысить качество puddингового железа, стало применение для обжигания криц прокатных валков с ручьями.

Процесс puddингования (от английского слова *puddle* – перемешивать) состоял в следующем. Чугун в чушках загружали в нагретую до высокой температуры отражательную печь и нагревали до расплавления. Затем металл перемешивали до тех пор, пока он не начинал переходить в тестообразное состояние и свариваться. В этот момент добавляли

окалину и железные обрезки. Полученное железо накатывали в крицы, используя специальные стальные ломы. Затем крицы в горячем виде проковывали под молотком и разбивали на полукрицы. Дальнейшая обработка заключалась в нагревании полукриц и прокатке их в «плющильных» валках. Валки способствовали уплотнению металла и выдавливанию из него шлаков (патент на процесс прокатки в калиброванных валках получен Г. Кортон в 1783 г.).

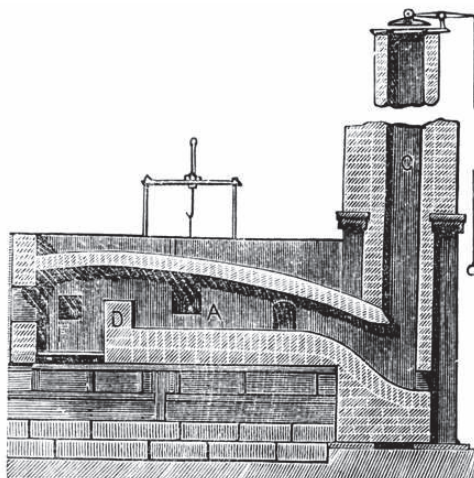


Рис. 3.16. Пудлинговая печь: А – рабочий объем печи, С – труба с клапаном для регулирования силы тяги, D – порог, отделяющий металл в рабочем объеме от топлива, F – колосниковая решетка, на которой находится горящее топливо (уголь)

Применение прокатных валков в технологии пудлингования является одной из оригинальных особенностей изобретения. Деформация металла крицы в валках протекала с большой интенсивностью. Новый способ обжата выгодно отличался от процесса обработки крицы под молотом в кричном горне. В результате чрезвычайно сокращался производственный процесс. В отличие от кричного передела, где в результате переработки чугуна получалась железная заготовка (требующая дальнейшей механической обработки), в процессе пудлингования калиброванные прокатные валки позволяли сразу изготавливать различные железные полосы и профили. Весь процесс получения крицы продолжался около 2–3 часов.

Другим преимуществом пудлингования по сравнению с кричным переделом являлось использование для отопления пламенной отражательной печи не дорогого и дефицитного древесного угля (или другого вида топлива), а более дешевого и доступного каменного угля. Производительность пудлинговой печи была примерно в 3 раза выше производительности кричного горна. В течение 2 часов в пудлинговой печи перерабатывалось в железо 250 – 300 кг чугуна (угар металла колебался от 8 до 15 %). При кричном переделе удавалось получить за то же время в среднем около 100 кг железа.

Пудлингование – один из самых тяжелых в физическом отношении способов получения стали из чугуна. В процессе пудлингования требовалось непрерывное перемешивание тестообразного металла и собирание отдельных частиц затвердевшего металла в комья массой до 50–80 кг и более, которые извлекались из печи клещами. Пудлинговщики работали в адских условиях, перемешивая длинной железной шуровкой раскаленный расплав. Количество шлака в печи непрерывно увеличивалось, и он, вспениваясь, поднимался все выше и выше. С этой «дьявольской похлебкой» из металла и шлака справиться было трудно. Постепенно интенсивность образования оксида углерода снижалась, и жидкая ванна начинала успокаиваться. Но работа пудлинговщиков и после этого не облегчалась, так как расплав становился более вязким. На конечной стадии процесса пудлинговщики длинными ломami взламывали и разрывали на куски тяжелую тестообразную массу. Полученные куски вращали в раскаленной печи, пока они снова не сваривались. Процесс повторяли несколько раз. В последний раз пудлинговщики разделяли всю массу на четыре-шесть криц. Затем плавку начинали сначала. За 12-часовую смену два пудлинговщика в одной печи проводили до девяти плавок.

Способ, предложенный Г. Кортон, продолжал быстро развиваться. Уже в 1791 г. передовая в то время английская металлургическая промышленность произвела 80 тыс. т пудлингового железа. Одновременно сокращалась выделка кричного железа, составившая в это время в Англии всего лишь 10 тыс. т. В первой четверти XIX в. процесс пудлингования уже широко применялся на многих металлургических заводах. Пудлингование стало главенствующим способом производства железа вплоть до 60–70-х гг. XIX в., т. е. до появления новых способов получения литой стали в бессемеровских и мартеновских печах.

Пудлингование по методу Генри Корта почти на целое столетие стало важнейшим способом получения ковкого железа. Еще в течение

нескольких десятилетий этот процесс применяли наряду с новыми способами фришевания чугуна по Бессемеру и Томасу.

Морское ведомство в 1787 г. объявило, что качество сварочного железа, полученного новым методом, выше, чем самого лучшего шведского. Королевская контрольная комиссия Морского ведомства Англии рекомендовала применять железо Генри Корта вместо шведского для якорей и «всех железных изделий», используемых в морском деле. Это был громадный успех. Начали расти заказы, и, чтобы их удовлетворить, необходимо было увеличить производственные мощности.

Генри Корт израсходовал на свои опыты большую по тем временам сумму – около 20 тысяч фунтов стерлингов. Это были практически все его наличные деньги. Необходимо было найти человека, который бы мог дать ссуду.

Нашелся один делец, казначей А. Джелликой, человек очень состоятельный, который объявил о своей заинтересованности в этом деле. Он предоставил Генри двадцать семь тысяч на следующих условиях: во-первых, сын Сэмюель Джелликой становится компаньоном Корта, во-вторых, он получает половину всех прибылей, в-третьих, все патенты переписываются на имя Джелликой.

Генри Карту пришлось проглотить эту горькую пилюлю. Он был бессилен что-либо изменить, так как время шло, а денег у него не было. Старый Джелликой обещал использовать свое влияние, чтобы рекомендацию «применять только пудлинговое железо» превратить в распоряжение. Действительно, 16 апреля 1789 г. было опубликовано распоряжение Морского ведомства, в котором говорилось, что в британском кораблестроении будет применяться лишь железо, изготовленное по способу Корта и Джелликой. Хотя Генри Корт и потерял определенную самостоятельность в действиях, казалось, его будущее обеспечено.

Удар судьбы был как гром среди ясного неба. В августе 1789 г. А. Джелликой умер, и тогда обнаружили значительные хищения государственных денег. Как следовало из документов, двадцать семь тысяч фунтов, выданные Генри Карту, тоже были взяты из государственной казны. Государство наложило арест на все состояние фирмы «Корт и Джелликой». Конфискации подлежали также записанные на Джелликой патенты. Их стоимость была определена в 100 фунтов. В этом был вполне определенный смысл. Генри Корт в один момент превратился в нищего, но это было только началом долгого тернистого пути. Его ожидали намного худшие времена.

Способ получения пудлингового железа очень скоро начали применять во всей Англии. В мае 1790 г. Генри Корт написал в Королевскую

комиссию Морского ведомства письмо, в котором предлагал взимать лицензионные налоги с владельцев заводов, производящих пудлинговое железо, и таким образом вернуть в казну растроченные деньги. Ему даже не ответили. Через год он повторил свои предложения и приложил к ним расчет, из которого следовало, что выплавка пудлингового железа в Англии достигла 50 тыс. т. в год и что не составит труда возместить ущерб, причиненный казне. Последовал отказ, и это было все, чего достиг Генри Корт.

Английская корона, а также промышленники черной металлургии и высокопоставленные служащие Морского ведомства обогатились за счет Генри Корта. Злоупотребления А. Джелликоя оказались удобной ширмой для морального оправдания их действий. Что это было именно так, отчетливо видно из отношения государственных властей к Сэмюэлю Джелликою, номинальному компаньону Генри Корта. Ему вернули конфискованный завод, и он стал его единоличным владельцем.

Это был конец Генри Корта. Он рассылал письма с просьбами о помощи и поддержке. Наконец, в 1794 г. он добился годовой ренты в 160 фунтов, и это в то время, когда его личный вклад в металлургию стал известен уже во всем мире, и никто уже не оспаривал его причастности к тому прогрессу, который произошел в производстве стали.

В церкви Хемстеда (Лондон), возле которой в 1800 г. был похоронен Генри Корт, висит плита, напоминающая о человеке, которому буржуазное общество очень многим обязано и которого оно бесстыдно обобрало, лишив плодов его работы.

Тигельное рафинирование стали. В XVIII столетии Англия и Франция вели упорную борьбу за гегемонию в Европе. Буржуазная революция в Англии произошла раньше, чем во Франции, поэтому феодально-абсолютистские ограничения были устранены в Англии тоже раньше и намного быстрее, чем во Франции. Опережающее развитие островной империи не было столь заметно в первую половину XVIII столетия, как во второй половине. В черной металлургии Англии происходили заметные положительные изменения, намечался прогресс и в других областях. Одно из решающих изобретений в производстве стали сделал небогатый и малообразованный ремесленник. Он повторно изобрел и ввел в металлургическую практику своего времени тигельную плавку стали.

Полное имя молодого человека, который одновременно владел такими далекими профессиями, как часовых дел мастер и врач, – Бенджамин Гентсман (1704–1776). Среди жителей Донкастера, небольшого

городка, расположенного к северу от Шеффилда, он слыл не только хорошим хирургом и окулистом, но и талантливым часовщиком. Для всех этих профессий требуется спокойная и точная рука, именно такая была у Бенджамина Гентсмана.

Родители Бенджамина были квакерами. Ревностно соблюдая строгие предписания веры, они вели скромный образ жизни и были уважаемыми членами своей религиозной общины. Институт священников и церковь, таинства и религиозные догматы они отвергали. Гентсманы были правдивы, отличались долготерпением и абсолютным воздержанием от алкоголя. Бенджамину было всего шестнадцать лет, когда умер отец.

Несмотря на молодость, Бенджамин был довольно опытным часовщиком, и мастер поручал ему работы, требовавшие большого умения. Но иногда работа не спорилась. Как правило, это было в тех случаях, когда материал, из которого были изготовлены инструменты и детали, не отвечал необходимым требованиям. Английская сталь характеризовалась низким качеством, была очень неоднородной по составу, содержала большое количество шлаковых включений. В те времена часовщики в основном сами изготавливали инструменты и детали к часам, поэтому хорошая инструментальная сталь ценилась особенно высоко. Многие заказывали сталь на континенте, например в Швеции или в Германии, это было дорого, так как на длинном пути следования металл проходил через множество рук и все хотели заработать. Применявшийся в то время метод получения сравнительно однородной стали известен под названием кузнечного рафинирования. Сталь нагревали в огне древесного угля до красного каления и затем из нее отковывали тонкие прутки, которые связывали в сноп и далее сваривали кузнечной сваркой. Процесс при необходимости повторяли. Таким образом получали или простую, или двойную рафинированную сталь. Однородность ее была намного выше, чем нерафинированной. Кроме того, такая сталь отличалась твердостью и чистотой.

Еще при жизни отца Бенджамин неоднократно пытался сам рафинировать сталь в кузнице, но желаемых результатов не получал. В первое время после смерти отца мало что изменилось. Однако постепенно качество стали послековки и сварки начало улучшаться, хотя до дорогой зарубежной инструментальной стали было еще далеко.

Много вечеров и ночей провел Бенджамин в мастерской, но, увы, был разочарован. Появились сомнения в правильности путей поиска, и Бенджамин прекратил опыты. А проблема осталась! Она не давала

ему покоя и напоминала о себе, когда ломался инструмент или пружина от часов. Ведь не может не быть способа превращения плохой стали в хорошую!

Пожалуй, специалисту не пришла бы в голову идея рафинировать сталь методом переплава. Он сразу бы подумал, что необходимые для этого температуры слишком высоки и вряд ли их можно достичь в существующих печах. Но Гентсман не был специалистом, и он не говорил никому о своих поисках, поэтому некому было сказать, что он «заблуждается». А тем временем в металлургическую практику вошел новый вид топлива – каменноугольный кокс, открытый Абрахамом Дерби. Именно кокс позволил достичь в печи температур, недостижимых ранее. Помимо высокой температуры, существовали и другие трудности. Так, при плавлении не должно быть контакта металла с топливом, иначе углерод из топлива будет переходить в сталь, и она, как говорят металлурги, будет науглероживаться и превращаться в чугун.

Часовщик Гентсман целыми днями ремонтировал часы или занимался другими работами, связанными с механикой, иногда выполнял работу костоправа, накладывал шины при переломах, вправлял вывихи или искусно перевязывал раны. Он помогал всем и во всем, если мог это сделать. И никто не догадывался, что этот тихий и молчаливый молодой часовщик ночами занимается опытами по выплавке стали. Он не хотел, чтобы его считали чудачком или того хуже. В течение нескольких лет ночью проводил опыты в мастерской.

И вот он, видимо, достиг цели. Теперь он знает, как из плохой английской стали получить хорошую инструментальную. Для этого ее нужно переплавить в специальном тигле, тогда она становится не хуже ввозимой из других стран. С ремонтом часов покончено, он хочет заняться производством и сбытом высококачественной инструментальной стали. Чтобы иметь доход, следует переехать в другой город, где исходная сталь и уголь дешевле, чем в Донкастере, и где можно найти покупателей.

Через несколько недель Бенджамин Гентсман нашел в небольшом городке Хендсуорт близ Шеффилда подходящий дом. Недалеко от Хендсуорта находился заброшенный металлургический заводик. Шеффилд уже тогда был центром английской сталелитейной промышленности. Здесь изготавливали лучшие в Англии ножи.

Переселившись в Хендсуорт, Гентсман нанял рабочих и начал полупромышленные опытные плавки. Оставались еще неясности, и новый металлургический процесс нельзя было считать полностью освоенным. Бенджамин расплавлял сварочную сталь в закрытых тиглях, изготовлен-

ных из лучших сортов глины, используя кокс в печах, оборудованных дутьем и высокими дымовыми трубами. Тигельная сталь получалась однородной, высокого качества. Все происходило в 1740–1742 гг. Кажется, что бывший часовщик из Донкастера был у цели своих многолетних поисков, но дело обстояло иначе.

Гентсман поселился вблизи Шеффилда, надеясь сбывать свою сталь местным предпринимателям, занимавшимся изготовлением ножей и других режущих инструментов. Однако его литая сталь была тверже и труднее поддавалась ковке, чем сварочная, и этого оказалось достаточно для того, чтобы шеффилдские кузнецы отказались от его услуг. Сколько ни пытался Гентсман убедить их, что созданная им сталь более высокого качества, все было напрасно. Он приходил в отчаяние; неужели пропадут его многолетние труды? В это тяжелое время умерла мать. Гентсман практически переселился на завод, где он много работал. Качество стали постоянно улучшалось. Бракованный металл Бенджамин ночью закапывал в землю. Рабочих пришлось рассчитать, так как сталь, выплавленную в тигле, никто не покупал. Гентсман все чаще подумывал о возвращении к старой профессии часовщика, но тут судьба улыбнулась ему.

В это время во Франции возникло и стало развиваться производство различных стальных изделий. Необходимую сталь владельцы предприятий покупали за границей – в Испании, Италии и прежде всего в России. Французское правительство принимало меры для стимулирования производства высококачественной ножевой стали в своей стране.

И вот однажды к Бенджамину Гентсману явились два француза. Это были братья Лени из Тулузы, что на юге Франции, – два обходительных господина, которые случайно прослышали о литой стали Бенджамина Гентсмана. Уже при первом посещении Хендсуорта они заказали столько металла, что Гентсману пришлось снова срочно нанимать двух помощников. Но это было лишь начало. Вскоре заказы из Франции посыпались один за другим. Появилась необходимость расширить дело, причем значительно. Шеффилдских торговцев стальными изделиями успехи Гентсмана вначале совершенно не интересовали, но вскоре все резко переменялось. Выяснилось, что качество французских стальных ножей и инструментов намного выше, чем английских. Англичане предпочитали теперь покупать ножи и инструменты, изготовленные во Франции. Шеффилдские торговцы всполошились – ведь дело касалось их доходов. Однако, вместо того чтобы срочно перейти на сталь, выплавляющуюся буквально у них под носом, они пошли окольным и, надо сказать, довольно странным путем.

Однажды Бенджамин Гентсман получил извещение, в котором содержалось требование явиться в недельный срок к досточтимому сэру Джорджу Савиле в Шеффилде – члену парламента от графства Йорк и весьма влиятельному человеку. Там ему сообщили, что шеффилдские промышленники и торговцы скобяными товарами утверждают, что Гентсман поставляет во Францию хорошую литую сталь и теперь французские стальные изделия лучше, чем английские. Шеффилдская депутация потребовала принятия в парламенте закона о запрещении вывоза литой стали.

Эти слова застали Гентсмана врасплох. Ничего подобного он не ожидал. Сэр Савиле спросил: «Почему вы продаете свою сталь во Францию, а не шеффилдским предпринимателям?» – «Ваша честь! Уже несколько лет я настойчиво пытался продавать свою сталь в Шеффилде, но никто ее брал. Все утверждали, что она труднее поддается ковке, чем сварочная».

Теперь настала очередь прийти в изумление сэру Савиле. В тот же день он пригласил к себе всю шеффилдскую депутацию и убедился, что Гентсман говорит правду. Тем самым повод для запрета вывоза стали был снят. Гентсману просто повезло, что сэр Савиле так обстоятельно проверил прошение. В это же время владельцы мануфактур Бирмингема предложили Гентсману построить сталелитейный завод в их городе. И он, безусловно, принял бы их предложение, не сложись его дела в Шеффилде так удачно. Число заказов возрастало, и Гентсману пришлось нанять еще работников и расширить производство. Понятно, что появились завистники. Бывший часовщик, умудренный горьким опытом, стал подозрителен и недоверчив. В глубокой тайне он хранил новую технологию получения стали. Патента Гентсман не взял, так как в бумагу не верил (это было связано с его религиозной принадлежностью к квакерам). Чтобы оградить себя от возможных неприятностей, он запретил посторонним входить на территорию завода без его личного разрешения. Со своих рабочих он взял клятву молчать обо всем, что делается на заводе. При этом Гентсман говорил всем, что «секрет» заключается в особом составе флюса, который он собственноручно кладет в тигель перед самым его закрытием. Многократные попытки раскрыть этот секрет ни к чему не приводили, и люди начали привыкать к мысли, что тигельную сталь может выплавлять только Бенджамин Гентсман. Но однажды один из его главных завистников, чугунолитейщик Уолтер Уолкер из Гринсайда, что близ Шеффилда, придумал оригинальный план.

Было известно, что сталь выплавляют только ночью. Он переоделся бродягой и смог проникнуть на завод до прихода Гентсмана. Уолкер увидел, как в каждый из тиглей Гентсман сыпал слой битого стекла. Как

он установил на следующий день, стекло представляло собой обычный бутылочный бой.

После загрузки битого стекла тигли, высота которых составляла около 10 дюймов, тщательно закрыли. Этим занимался сам Гентсман и с ним двое рабочих. Тигли поместили на колосниковые решетки еще не нагретых печей – по одному в каждую печь – и обсыпали древесным углем. Все остальное пространство печи заполнили горячим материалом (топливом). После его зажигания плавильщики заложили печные отверстия кирпичами. Уолкер видел, как открыли одну из печей и извлекли из нее тигель. Жидкую сталь из него залили в чугунную форму.

Так Уолкер узнал секрет этого процесса. Ничто не ускользнуло от него этой ночью, он запомнил мельчайшие детали технологии. Уже под утро Уолкер покинул завод, не признанный никем. Секрет выплавки тигельной стали перестал быть секретом. Вскоре Уолкер начал выплавлять такую же отличную сталь, как и Гентсман, а затем этот процесс получил развитие и в других странах. Спрос на тигельную сталь непрерывно возрастал и, несмотря на резко возросшую конкуренцию, Гентсману пришлось строить новый завод в Этгерклифе к северу от Шеффилда.

В течение всей своей жизни Гентсман упорно изучал химию, стремясь осмыслить свое изобретение. Поэтому понятно, что Английская академия наук пожелала сделать его своим членом. Гентсман отклонил это предложение, полагая, что религиозные убеждения квакера исключают возможность быть членом подобного ученого общества.

Однако следует знать, что Б. Гентсман «переоткрыл» тигельную плавку в Европе. Сама по себе тигельная плавка – древний способ плавки металлов, о ней писал еще Аристотель (IV в. до н. э.). Процесс применяли главным образом в странах Древнего Востока (Индия, Персия). Тигельную сталь здесь использовали для изготовления холодного оружия. Затем секрет тигельной плавки был утерян, Гентсман возродил этот процесс.

3.7. Развитие металлургии Франции в XVII–XVIII вв.

Открытие Реомюра в металлургии. Среди металлургов Франции XVII в. выдающейся фигурой был Рене Реомюр. Этот ученый, как и все деятели той эпохи, был универсалом, разбиравшимся во многих вопросах. И поэтому не случайно, что именно ему удалось сделать много открытий в области металлургии.



Рене Антуан
Реомюр
(1683–1757)

Правительство Франции поручило Реомюру детально описать различные искусства и ремесла. С 1708 по 1715 г. Реомюр занимался изучением жизни некоторых морских животных (фосфоресценция моллюсков, регенерация звеньев у крабов), интересовался электрическими аппаратами. Реомюр изучал различные технологии и ремесла, например изготовление канатов и золотой проволоки, изобрел белое непрозрачное стекло, напомилавшее по своим свойствам фарфор и потому получившее название «реомюров фарфор». В 1715 г. Реомюр начал заниматься металлургией железа. В это время он жил в собственном замке Бермондьер в Северной Франции. Он часто приглашал друзей, членов Академии и иностранных ученых, с которыми обсуждал различные научные проблемы, устраивая своего рода научные конференции. Результаты первых исследований материалов на основе железа были опубликованы в нескольких работах. Из них получили известность такие, как «Искусство превращения ковкого железа в сталь» и «Искусство умягчения литого чугуна». В указанных работах впервые даны научные основы термической обработки чугуна и стали. Деньги Реомюр тратил исключительно на научные исследования. Получив в наследство значительное состояние, он устроил в своем замке крупную исследовательскую лабораторию, соорудил плавильные печи и оборудовал литейную мастерскую. В своих металлургических исследованиях Реомюр активно сотрудничал со шведским ученым Эммануэлем Сведенборгом (1688–1772), обладавшим такими же универсальными знаниями.

В 1734 г. в Дрездене и Лейпциге вышла книга Сведенборга о железе под названием «*De ferro*». Это была лишь часть крупной работы под общим названием «Труды по философии и минералогии». Первый том посвящен мистической натурфилософии, а два других – вопросам металлургии железа и меди. Книга «*De ferro*» по праву считается первым учебником и одновременно справочником по металловедению чугуна и стали, в котором Сведенборг применил научный метод сравнения технологий в различных странах. Работы Реомюра были ему известны, и он очень высоко ценил их.

Реомюр и Сведенборг исследовали полученные образцы под микроскопом. Реомюр первым оценил значение микроскопа в исследованиях структуры чугуна и стали. Они вместе изучали под микроскопом образцы и пробы изломов ковкого чугуна или цементованной и зака-

ленной стали. Рассматривая под микроскопом структуру образца, Реомюр воспроизводил ее карандашом на бумаге. Реомюр был первым, кто создавал и расшифровывал металлографические схемы микроструктур.

Вообще, Реомюр ввел в практику ряд способов испытаний. Так, вместо примитивного способа испытания на твердость при помощи напильника он ввел способ ее измерения с помощью склерометрической шкалы. По этой шкале твердость определяют методом царапания, как по шкале Мооса в минералогии. Используя напильник, можно было только отличить сталь, поддающуюся обработке, от стали, не поддающейся обработке. Разработанный Реомюром метод определения твердости был намного точнее. Он утверждал также, что прочность можно сравнивать лишь в том случае, если равны сечения образцов.

Довольно часто в его работах шла речь о принципиальном различии между чугуном, ковким железом и сталью. По мнению Реомюра: «... основой является чистая железная субстанция, соединенная с большим или меньшим количеством сернисто-солевой материи, причем больше всего ее содержится в чугуне и меньше всего в ковком железе; в стали содержится среднее количество. Если из чугуна удалить эту сернисто-солевую материю, то его можно вначале превратить в сталь, а затем и в мягкое железо, и наоборот, добавляя в мягкое железо указанную материю, можно получить вначале сталь, а затем и чугун».

Эта теория объясняла не только умягчение чугуна, но и науглероживание (цементацию) стали. Таким образом, мы, по существу, имеем дело с первой попыткой научного объяснения двух различных технологий термической обработки материала на основе железа. Если слова «сернисто-солевая материя» заменить словом «углерод», то станет ясно, насколько современно мыслил Реомюр и насколько близки были его научные воззрения нашим. Французский ученый фактически создал теорию, которая могла стать основой современных научных представлений о механизме превращений, протекающих при термической обработке материалов на основе железа, тем более что Реомюр под сернисто-солевой материей понимал горячую составляющую древесного угля, т. е., как мы теперь знаем, – углерод.

Шведский ученый Сведенборг издал первую учебно-справочную книгу по металлургии железа. Этот труд обеспечил ему почетное место в ряду металлургов-ученых и практиков.

Реомюр вел научную работу, живя то в Париже, то в своих имениях. Парижская академия наук высоко оценила его заслуги. Человечество обязано Реомюру многими открытиями в самых различных областях

знаний. С его именем связано создание теоретических основ металлургии железа.

В книге «Наука в истории общества» известный физик, кристаллограф и общественный деятель Дж. Бернал пишет: «С помощью тщательно поставленных опытов Реомюру удалось раскрыть профессиональную тайну сталеплавильщиков, которую с древних времен строго охраняли, а именно то, что сталь есть чугун, в котором содержится не слишком много и не слишком мало углерода. Ему удалось установить, что сталь можно получить путем совместного переplava чугуна и ковкого железа». Однако современники Реомюра, по большому счету, не сумели воспользоваться плодами его трудов.

Развитие техники прокатки во Франции. Во Франции в XVIII в. технология прокатного производства получила достаточно большое развитие. Прокатные производства во Франции сосредоточивались в специальных мастерских. Более совершенной стала конструкция плющильных и резательных станов в результате замены деревянных узлов металлическими, повысилась их производительность.

Необходимо отметить, что применение гладких валков в железоделательной промышленности вплоть до 60-х гг. XVIII в. в основном ограничивалось описанными выше процессами плющения железа. При этом металл подвергался небольшим обжатиям, дающим возможность выравнивать поверхности полосы и придавать ей определенную толщину. Казалось бы, с применением плоских валков открылись перспективы их использования для прокатки листового железа, спрос на которое постоянно возрастал. Однако этого не произошло. Как было показано ранее, в системе железоделательной промышленности было широко распространено и поставлено на достаточно высокий уровень листобойное производство, выпускавшее на продажу весьма широкий ассортимент тянутых под молотами железных листов.

В работах ряда известных ученых и специалистов XVIII в. можно встретить высказывания, в которых отмечают причины, сдерживающие в то время развитие прокатки листового железа. Так, по мнению французского металлурга Э. Бушю, трудность введения прокатных станов состояла в том, что железо, даже будучи «размягчено калением», дает крайне тяжелую нагрузку на прокатные валки и что производства такого рода требуют применения мощных гидравлических колес и значительного расхода воды.

Именно этим можно объяснить тот факт, что процесс листовой прокатки получил распространение в другой области металлообра-

тывающего производства, связанной с выделкой листов из мягких металлов – свинца и олова, значительно легче поддающихся пластической деформации. До XVI в., по сведениям В. Бирингуччо, кровельные свинцовые листы изготавливались отливкой на наклонных досках. Появление первых прокатных станов с ручным приводом, как было показано выше, заложило основы для развития более прогрессивной технологии получения свинцовых и оловянных листов.

В XVII в. прокатка свинцовых листов уже достигает значительных масштабов. Станы стали снабжать механизмом для изменения направления вращения валков, состоящим из системы шестерен. Введение реверса валков значительно облегчило работу на стане, так как отпала необходимость поворачивать лошадей для вращения валков в обратном направлении. Кроме того, с введением реверсного механизма уже не требовалось переносить тяжелые свинцовые плиты весом до 1 100 кг на противоположную сторону стана для повторной прокатки. Реверс позволил вновь прокатывать эту же полосу, подавая ее в валки с противоположной стороны стана. Для перемещения прокатываемого металла к валкам на станах были предусмотрены деревянные ролики, представляющие собой прообраз современного рольганга, широко применяемого в прокатном производстве. Отлитая свинцовая заготовка поднималась на ролики специальным поворотным краном.

Возвращаясь к вопросу о развитии железопрокатного производства, следует подчеркнуть, что, в отличие от плоской прокатки, более существенные технические результаты были получены в прокатке сортового железа, изготовление которого не требовало двигателей большой мощности.

Наиболее ранние и в то же время оригинальные работы, связанные с развитием сортовой прокатки, принадлежат Флюеру, осуществившему на практике прокатку железа в валках с ручьями (калибрами). Он обратил внимание на то, что изготовление кованых заготовок для волочения обходилось очень дорого и не всегда давало желаемые результаты.

Флюер применил двухвалковый прокатный стан с ручьями ромбической и овальной формы (рис. 3.17).

Валки, выкованные из пакета сварочного железа, имели реверсное вращение. Кованая заготовка подвергалась шестикратной прокатке при трех промежуточных нагревах. В первый ручей ромбической формы задавалась заготовка овального сечения, после чего она пропусклась через ручей овальной формы. Затем следовал нагрев и вновь прокатка в ромбических и овальных калибрах. При заключительной, шестой,

прокатке металл поступал в калибр круглой формы. В результате конечного пропуска в валки получался пруток диаметром около 6,3 мм. Эффективность процесса была исключительно высокой. За 24 часа 6 рабочих с несколькими учениками прокатывали более 2 720 кг прутков, в то время как 4 волочильщика могли изготовить за то же время всего лишь около 230 кг.

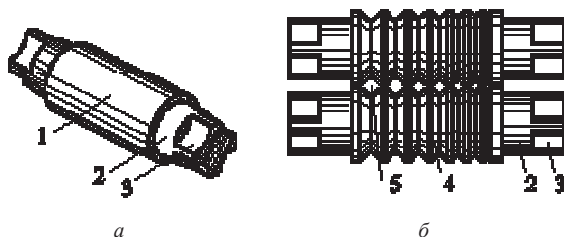


Рис. 3.17. Валки прокатных станов: *а* – гладкий валок, *б* – калиброванные валки с ромбическими калибрами; 1 – бочка (боковая поверхность гладкого валка); 2 – шейка (предназначена для закрепления валка); 3 – трефа (предназначена для передачи вращательного движения от привода к валку); 4 – ручей (вырез на поверхности валка); 5 – калибр (зазор заданной формы между валками)

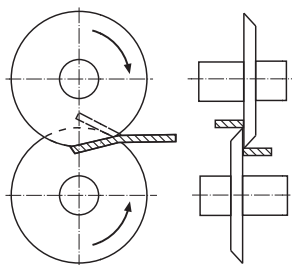


Рис. 3.18. Схема действия прорезного стана

В первое время на нововведение Флюера не было обращено внимание. Однако его схема производства прутков прокаткой была так удачна, что примерно через 50 лет Франция стала вывозить излишки проволоки в соседние страны. Как считают, Флюер был первым, кто понял, что прокатные валки с ручьями овально-ромбической формы наиболее рациональны для обеспечения быстрого обжатия обрабатываемого металла и повышения производительности. Не случайно, что использование валков с овально-ромбическими ручьями легло в основу дальнейшего развития техники сортовой прокатки.

Кроме собственно прокатки проволоки, во Франции в первую очередь и затем по всей Европе стали получать проволоку квадратного сечения, обрезая край у листовой заготовки при помощи специального прорезного стана (рис. 3.18). Устройство железорезного, резательного или

«прорезного» стана было точно такое же, как и стана прокатного. Различие состояло исключительно в форме и размерах валков. В прорезном стане вместо двух гладких валков применяли два валка с дисками. Число дисков определялось тем, на сколько частей надо было разрезать полосу.

3.8. Кризис гидроэнергетики

Кризис гидроэнергетики начал проявляться со второй половины XVIII в. прежде всего в неспособности гидроэнергетики удовлетворить одну из самых насущных потребностей производства – откачивание воды из рудников. С увеличением глубины рудников потребность в мощности для откачивания воды увеличивалась как за счет роста количества воды, накапливавшейся в рудниках, так и за счет роста высоты ее подъема. Соответственно увеличивалась и потребность в энергии водного потока.

Кризис заключался не только в том, что возрастала потребность в мощности водного потока для откачивания воды. В ряде случаев, как, например, при увеличении мощности, необходимой для привода воздуховальных мехов железодельательных фабрик, локальность гидроэнергетики приводила к необходимости перебрасывать на дальние расстояния два транспортабельных элемента производства: руду и горючее – к третьему, абсолютно нетранспортабельному элементу – источнику водной энергии. Такие переброски приводили к усложнению производственного цикла, удорожанию продукции, но были все же выполнимы. В случае же откачивания воды из рудников оба необходимых элемента производства – и рудник, заливаемый водой, и водный поток, – как совершенно нетранспортабельные, могут успешно использоваться только в том случае, если они находятся в одном месте. Но, как писал Ползунов, «не всегда то в натуре (т. е. в природе) имеем», что и является основой кризиса гидроэнергетики, особенно остро проявившегося именно в случае применения водяных колес для откачивания воды из рудников.

Кризис, начавшийся в водоподъемных установках еще в XVII в., в XVIII в. распространился и на другие отрасли производства. Практическая задача откачки воды из шахт потребовала нового двигателя, способного работать в любом месте в любое время, удовлетворяя ряду новых требований. Таким двигателем явился паровой двигатель, и гидроэнергетика постепенно потеряла свое значение до тех пор, пока не была снова вызвана к жизни на новом, неизмеримо более высоком уров-

не, возможном в связи с решением задачи о передаче энергии на дальние расстояния посредством электрического тока.

Неизбежно наступал период перехода от старой энергетики к новой, от гидроэнергетики к теплоэнергетике, характерный для развития производительных сил в течение XVIII в.

Возникновение теплового двигателя. Локальность энергетики водяного колеса определила основные требования к новой энергетике. Для преодоления локальности нужен был такой источник энергии, который мало зависел от местных условий, мог бы использоваться в любом месте, давал бы энергию в любом необходимом количестве, так как с ростом производства нужны приспособления, обладающие большей мощностью.

Преодоление зависимости от локальных условий и возможность концентрации значительных мощностей всецело определяются свойствами источника энергии, удельной энергоемкостью самого энергоносителя. Источник тепловой энергии – топливо – имеет энергоемкость в сотни тысяч раз большую, чем вода. Энергоемкое горючее можно перевозить от шахты к заводу на значительные расстояния. Тепловой двигатель мало зависит от локальных условий, поэтому поиски двигателя, свободного от ограниченности гидродвигателей, неизбежно приводили к теплому двигателю. Характер требований к новой энергетике всецело относился к источнику энергии, но не к самому двигателю – водяному колесу, и это обстоятельство во многом определяло процесс начального развития теплоэнергетики. Оценивая двигатель, необходимо различать две стороны: 1) степень его независимости от местных (локальных) условий, определяемую прежде всего энергоемкостью носителя энергии, и 2) степень его применимости для самых разнообразных нужд промышленности и транспорта, определяемую Карлом Марксом как «универсальность по техническому применению» и зависящую от конструктивных форм самого двигателя. Двигатель, способный работать вне зависимости от местных условий, а также способный приводить в движение самые разнообразные производственные агрегаты, – универсальный двигатель.

Так как зависимость гидроэнергетики от локальных условий сказалась прежде всего в области рудничного водоподъема, то и поиски энергии, независимой от этих условий, были направлены в первую очередь на удовлетворение нужд водоподъема. Вопрос об универсальности по техническому применению в начальный период становления теплоэнергетики еще не возникал.

Поиски нового источника энергии требовали известных познаний объективных закономерностей природы, которые могли бы быть исполь-

зованы для решения стоявшей технической задачи. Где, в каких явлениях природы могла проявляться новая, пока неизвестная людям энергия, являющаяся носителем громадного запаса механической работы?

В предыдущие эпохи были сформированы три направления изысканий, возникавших перед изобретателями в форме различных проявлений энергии природы: использование «силы атмосферы», «силы пара», «силы воздуха», или газов. Но все они сводились к одному направлению – использованию тепловой энергии или, как стали говорить в те времена, «движущей силе огня».

Разрозненных сведений о взаимосвязях природы, относящихся к упругости пара и воздуха, к атмосферному давлению, было достаточно для того, чтобы практика того времени сумела решить первый этап задачи перехода от водяного колеса к тепловому двигателю.

Первой эффективной паровой машиной была машина Томаса Ньюкомена (1663–1729), промышленный экземпляр которой был построен в 1712 г. (рис. 3.19). Машина Ньюкомена, не являлась универсальной, так как была предназначена для решения только одной задачи – откачки воды из шахт. Основной особенностью, сковывавшей возможность универсального применения машины Ньюкомена, было то, что сам паровой двигатель конструктивно не был отделен от потребителя энергии, т. е. водооткачивающего устройства. Но на ее основе были построены более совершенные механизмы.

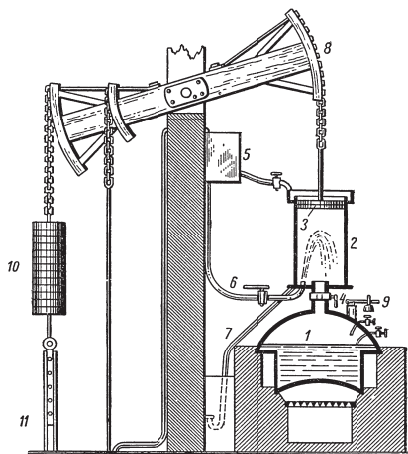


Рис. 3.19. Схема машины Ньюкомена

Следующий шаг был сделан нашим соотечественником Иваном Ивановичем Ползуновым (1728–1766). Проект парового двигателя (на основе машины Ньюкомена) мощностью 1,8 л. с. Ползунов разработал в 1763 г. и построил в 1764 г. машину (рис. 3.20) для приведения в действие воздуходувных мехов на Барнаульских Колывано-Воскресенских заводах. Это был первый в мире двухцилиндровый паровой двигатель с работой цилиндров на один общий вал, что позволило отделить двигатель от потребителя энергии. Это было огромным шагом вперед по сравнению с машиной Ньюкомена.

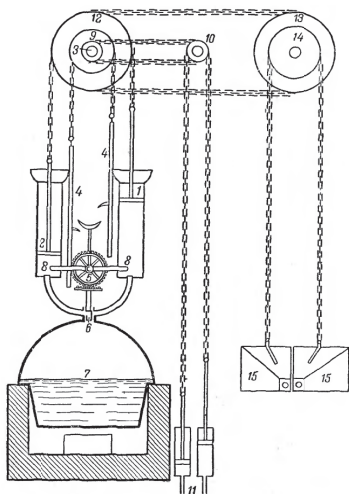


Рис. 3.20. Схема универсального парового двигателя И. И. Ползунова, 1763 г.: 1 и 2 – поршни; 3 – главный вал двигателя; 4 – штанги пароводораспределительного механизма; 5 – водораспределительный кран; 6 – парораспределительный кран; 7 – паровой котел; 8 – трубы для впрыскивания воды в полость цилиндров; 9 и 10 – привод к насосам 11; 12–14 – привод к воздуходувным мехам 15

Проект был послан Екатерине II, и она наградила Ползунова 400 рублями и повысила его в чине. Президент Берг-коллегии (правительства) А. И. Шлаттер при этом оценил проект словами: «За новое изобретение почтеть должно».

В 1764–1766 гг. Ползунов сконструировал новый паровой двигатель для привода дутья плавильных печей. Двигатель имел рекордную для своего времени мощность 32 л. с.

Новизну установки и ее достоинства оценил русский ученый и путешественник шведского происхождения Э. Г. Лаксман, посетивший в 1765 г. Барнаул. Он писал, что Ползунов «...муж, делающий честь своему Отечеству. Он строит теперь огненную машину, совсем отличную от венгерской и английской». Модель этой машины была взята в Кунсткамеру Санкт-Петербурга, сама же машина была испытана

учениками Ползунова, окупила себя и успела даже принести прибыль. К сожалению, Ползунову не удалось дожить до осуществления своей мечты, он умер незадолго до полноценного запуска его детища. Однако после трех месяцев успешной работы машина сломалась, починить ее не смогли, поэтому она была разобрана и заменена на обычный гидравлический привод. Действующая модель машины Ползунова хранится в музее Барнаула.

Принципиальным этапом развития паровых машин стало изобретение полностью универсального парового двигателя, позволявшего применять его для любых целей. Этот шаг сделал выдающийся шотландский механик Джеймс Уатт (1736–1819).

Уатт, как и Ползунов, взял за основу машину Ньюкомена и сделал в ней несколько существенных изменений. В результате его работы в 1782 г. впервые была построена машина так называемого двойного действия (рис. 3.21). Сутью усовершенствования можно назвать то, что пар подавался в обе части рабочего цилиндра, а не только под поршень, как это было на машинах предыдущего поколения. В результате мощность машины возросла более чем в четыре раза.

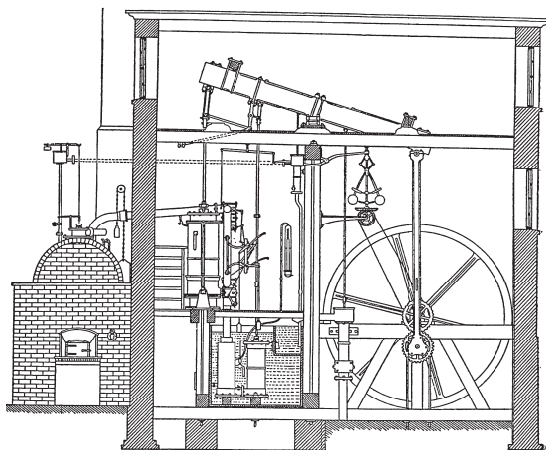


Рис. 3.21. Схема паровой машины двойного действия Дж. Уатта

Интересно, что Российская академия наук пригласила Уатта работать в России. Русское правительство предложило английскому инженеру «занятие, сообразное с его вкусом и познаниями» и с ежегод-

ным жалованьем в 1 000 фунтов стерлингов. Намерение Уатта уехать в Россию вызвало переполох. Поэт Эразм Дарвин написал: «О Боже, как я был напуган, когда услышал, что русский медведь зацепил Вас своей громадной лапой и тянет в Россию! Умоляю не ездить, если только это возможно... Я надеюсь, что Ваша огненная машина оставит Вас здесь». Уатт в Россию не поехал.

Универсальность парового двигателя Уатта можно выразить не только в том, что машина могла использоваться для исполнения множества задач, но и в том, что сама паровая машина стала товаром. Предыдущие паровые двигатели проектировались и строились для конкретных предприятий и задач. Машина же Уатта продавалась просто как универсальный (и дорогостоящий) инструмент, владелец которого был волен сам выбирать место и область его применения.

Подводя итог периоду перехода от гидравлических устройств к паровому двигателю, можно выделить несколько последовательных этапов. Важнейшими из них были: а) двигатель неотделим от потребителя развиваемой им работы; б) двигатель конструктивно обособился от машины – потребителя энергии, но еще не стал вполне самостоятельным; в) двигатель стал самостоятельным, универсальным двигателем.

3.9. Возникновение машиностроительного производства

Промышленный переворот начался с применения машин-орудий для прядильного и ткацкого производства и универсального парового двигателя, позднее стали строиться машины-орудия и для других отраслей производства. В качестве основного материала для построения машин-орудий, передаточных механизмов и паровых двигателей использовался металл: машиностроение предъявляло новые требования к металлургии. Вместе с этим возникла необходимость в освоении новых методов обработки металлов, так как ручная их обработка не обеспечивала изготовления большого числа сложных деталей, требовавших значительной точности обработки.

Были разработаны основные формы металлообрабатывающих станков и главнейшие виды инструмента. Взаимодействие и связь отдельных деталей и узлов новых машин-орудий и двигателей вызвала необходимость придания отдельным их деталям определенных точных геометрических форм, для чего потребовалось освоить обработку ос-

новых видов поверхностей: плоских, цилиндрических (в общем случае тел вращения) и винтовых.

Все более возрастающая потребность в рабочих машинах и приводящих их в действие двигателях привела к возникновению новой исключительно важной отрасли промышленного производства – машиностроения. Первые рабочие машины изготовлялись в основном из дерева, и в их конструкцию входило относительно небольшое число довольно простых металлических частей. Но постепенно металл стал играть более значительную роль в машиностроении, особенно в производстве паросиловых установок. Паровые двигатели, котлы и вспомогательное оборудование должны были изготовляться из металла. В отдельных случаях, например при расточке внутренней поверхности парового цилиндра, металл должен был обрабатываться с такой степенью точности, которая совершенно недостижима при ручной работе. В качестве примера того, на каком низком уровне находилась точность ручной обработки, можно указать, что в результате такой обработки внутренней поверхности цилиндров для паровой машины Ньюкомена в середине XVIII в. получалась разница между наибольшим и наименьшим диаметрами цилиндра «меньше толщины мизинца», и это считалось допустимой степенью точности.

До эпохи промышленного переворота металлические изделия подвергались токарной обработке редко, но с ростом производства машин понадобились станки, приспособленные специально для изготовления металлических частей.

Необходимость в машинном изготовлении металлических деталей машин, связанная с широким переходом к машинному производству во всех отраслях промышленности, в полной мере проявилась лишь в конце XVIII – первой четверти XIX в. и послужила толчком к усовершенствованию металлорежущих станков, в первую очередь токарных. При этом были использованы или открыты вновь ранее известные усовершенствования и сделаны новые замечательные изобретения, позволившие далеко двинуть вперед технику машиностроительного производства.

В первой половине XVIII в. уже существовали токарные и токарно-винторезные станки по металлу, но широкого распространения они тогда еще не приобрели, так как не было массовых заказов на их изделия, и важнейшие детали машин, в том числе и паровых, изготовлялись слесарями вручную. Поэтому следующим шагом в развитии токарных металлорежущих станков после отделения привода от самого станка

становятся специальные устройства, позволяющие осуществить закрепление и подачу инструмента к обрабатываемой детали – суппорты.

Промышленный переворот, начавшийся в Англии ранее других стран, характеризовался внедрением машин во все отрасли производства. Создание механизированной промышленности потребовало прежде всего невиданного ранее количества машин, быстроходных и прочных. Изготовление отдельных экземпляров очень хороших машин вручную было возможно с помощью редко встречающихся ремесленников-виртуозов. Коллекция станков Государственного Эрмитажа и отдельные сохранившиеся экземпляры станков за рубежом подтверждают это.



Андрей Константинович
Нартов
(1693–1756)

Например, выдающийся русский механик Андрей Константинович Нартов еще в начале XVIII в. изобрел первый в мире токарно-винторезный станок со сменными зубчатými колесами (1717), однако объективной потребности тогдашнего производства в подобных весьма недорогих устройствах не было.

В 1755 г. Нартов завершил работу над рукописью «Театрум махинариум, или Ясное зрелище махин» – своеобразной энциклопедией станкостроения, медальерного и токарного искусства 1-й половины XVIII в. Эта книга имеет огромное значение для истории науки и техники. Нартов хотел «объявить в народ», т. е. напечатать книгу и сделать ее доступной всем токарям, механикам и конструкторам. Книга, над которой Нартов работал с 1737 г., содержала тщательное описание 34 оригинальных токарных, токарно-копировальных, токарно-винторезных станков (рис. 3.22). Нартов давал подробные чертежи станков, составлял пояснения, разрабатывал кинематические схемы, описывал применявшиеся инструменты и выполненные изделия. Нартов разработал теоретическое введение, касающееся таких принципиальных вопросов, как необходимость сочетания теории и практики, необходимость предварительного построения моделей станков до их изготовления в натуре, учет сил трения и т. п. «Театрум махинариум» был закончен Нартовым незадолго до смерти. Его сын собрал все листы рукописи, переплел и приготовил ее для поднесения Екатерине II. Рукопись была передана в придворную библиотеку и там пролежала в неизвестности почти двести лет. К большому сожалению, книга Нартова опередила свое время.

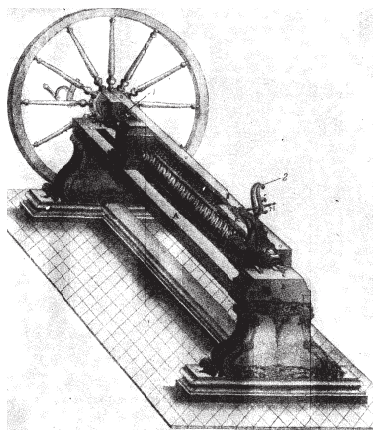


Рис. 3.22. Токарно-винторезный станок с механизированным суппортом и сменными шестернями, предназначенный для производства деталей машин. Конструкция А. К. Нартова, 1738 г.

Коренные изменения в металлообработку были внесены различными металлообрабатывающими приводными станками, которые стали конструировать в период промышленного переворота. Особо важное значение имел токарный станок с механическим суппортом.

Ручной труд был в состоянии удовлетворить единичные запросы знатных любителей токарного искусства, не считающихся со стоимостью изготовления предмета развлечения. Когда же возник большой спрос на машины, притом на машины дешевые, когда потребителям понадобилось много быстро изготовленных машин, когда возник фактор «морального» износа оборудования и нельзя было строить машину не торопясь, в течение многих лет, тогда станкостроители-ремесленники уже не смогли удовлетворить потребителя. Ручной труд стал сдерживать развитие производительных сил общества. Только введение машин могло привести производительные силы общества в соответствие с развивавшимися производственными отношениями. Получившееся противоречие могло быть разрешено лишь путем создания машин для производства машин. Машины должны были заменить собой квалифицированных рабочих, которых было недостаточно, обеспечить быстрый массовый выпуск дешевых и надежных машин для промышленности и транспорта.

Начало изменению техники изготовления машин положил английский механик Генри Модсли (1771–1831), создавший механический суппорт для токарного станка. Сын плотника, Модсли с двенадцати лет пошел работать в арсенал. За шесть лет работы он получил хорошие навыки в дерево- и металлообработке и, кроме того, стал одним из первых

мастеров кузнечного дела. Однако Модсли мечтал о карьере механика. В 1789 г. он поступил в Лондонскую механическую мастерскую Джозефа Брамса (1748–1814), специалиста по изготовлению замков, прославившегося также внедрением гидравлического пресса в промышленную практику.

Механизмы замков, основными деталями которых являлись пружины, подвижные кольца, задвижки и цилиндры, требовали исключительно тщательной обработки. На замки Брамса был огромный спрос, так как они отличались необыкновенной прочностью, а секрет их весьма трудно разгадывался. Один из его замков, выставленный в окне магазина фирмы в Лондоне с объявлением о награде в 200 фунтов стерлингов тому, кто его откроет, простоял около семидесяти лет и был открыт только в 1851 г. Однако Брамса при отсутствии специальных станков и инструментов не мог наладить массового изготовления замков. Каж-

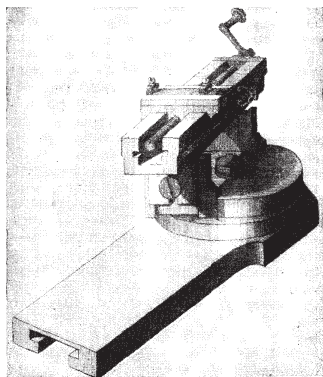


Рис. 3.23. Крестовый суппорт токарного станка, 1772 г. По «Иллюстрациям» к «Энциклопедии» Дидро и Даламбера

дый замок изготовлял один мастер, поэтому количество выпускаемой продукции было невелико. В мастерской Брамса Генри Модсли получил возможность изобретать и конструировать различные приспособления для изготовления замков. Широкую известность, например, получил гидравлический пресс, усовершенствованный Модсли. Но, пожалуй, главное то, что он изобрел так называемый крестовый суппорт к токарному станку (рис. 3.23), способствовавший превращению станка в рабочую машину.

Сущность изобретения Модсли сводилась к следующему. Токари того времени, обтачивая какой-либо предмет, наглухо укрепляли его на станке специальными зажимами. Рабочее орудие – резец – находилось при этом в руках рабочего. При вращении вала резец обрабатывал заготовку. Рабочий должен был не только создавать необходимое давление резцом на заготовку, но и передвигать его вдоль нее. Это было возможно только при большом умении и сильном напряжении. Малейшее смещение резца нарушало точность обточки. Модсли решил укрепить резец на станке. Для укрепления резца Модсли создал специальный металлический зажим – суппорт, который имел две каретки, передвигающиеся посред-

ством винтов. Одна каретка позволяла создавать необходимое давление резца на заготовку, а другая передвигала резец вдоль заготовки. Таким образом, человеческая рука была заменена специальным механическим приспособлением.

С введением суппорта станок стал непрерывно действовать с совершенством, недостижимым даже для самой искусной человеческой руки. Суппорт оказался одинаково пригодным для изготовления как мельчайших деталей, так и огромных частей различных машин.

Первый станок с суппортом, правда, крайне несовершенным, был изготовлен в мастерской Браммы в 1794–1795 гг. (рис. 3.24). В дальнейшем Модсли продолжал совершенствовать свой токарный станок с суппортом. В 1797 г. он построил токарно-винторезный станок со сменным ходовым винтом. Выделка винтов в те времена была работой исключительно сложной. Винты, нарезаемые ручным способом, имели произвольную нарезку. Трудно было найти два одинаковых винта, а это чрезвычайно усложняло ремонт станков, их сборку и замену износившихся деталей новыми. Поэтому Модсли в первую очередь совершенствовал именно токарно-винторезные станки. В результате усовершенствования нарезок винтов он добился частичной стандартизации изготовления винтов, проложив путь для своего будущего ученика Витворта, основателя винтовых стандартов в Англии.

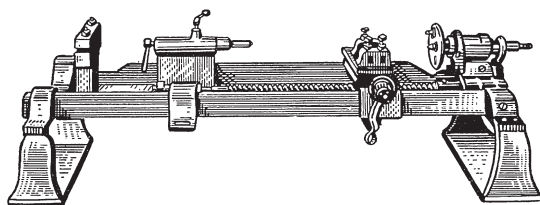


Рис. 3.24. Первый токарный станок с суппортом Г. Модсли

Интересно отметить, что попытки создать рабочую машину с конца XVIII в. делались и в других странах. В Германии немецкий механик Рейхенбах, независимо от Модсли, также предложил приспособление для держания резца (суппорт) на деревянном токарном станке, предназначенном для обработки точных астрономических инструментов. Однако социально-экономические условия феодальной Германии резко отличались от условий капиталистической Англии. Механический суппорт для немецкой кустарной промышленности был не нужен, тогда как

внедрение токарно-винторезного станка Модсли в Англии вызывалось потребностями развивающегося капиталистического производства.

По словам К. Маркса, современника и исследователя процессов развития производительных сил общества, проблема повышения производительности и точности металлорежущих станков была разрешена в конце XVIII в. изобретением механизированного суппорта (см. рис. 3.23). «Это механическое приспособление заменяет не какое-либо особенное орудие, а самую человеческую руку, которая создает определенную форму, приближая, прилагая острие режущего инструмента к материалу труда или направляя его на материал труда, например на железо. Таким образом, удалось производить геометрические формы отдельных частей машин с такой степенью легкости, точности и быстроты, которой никакая опытность не могла бы доставить руке искуснейшего рабочего».

Суппорт вскоре был превращен в совершенный механизм и в модернизированной форме перенесен с токарного станка, для которого он первоначально предназначался, на другие станки, применяемые для изготовления машин. Одновременно происходила дифференциация станков по видам выполняемых работ, например выделение в самостоятельную группу сверлильно-расточных станков было связано с потребностью в изготовлении артиллерийских орудий. Еще в XV в. появились сравнительно сложные и тяжелые металлорежущие станки, предназначенные для обработки канала ствола орудия. Затем были созданы агрегаты, которые производили, кроме того, наружную обточку орудийного ствола, отрезание литейной прибыли и обточку цапф. Эти станки в XVIII в. использовались также для обработки цилиндров насосов, воздуходувок и паровых машин. Как и для других металлорежущих станков, толчком для их усовершенствования послужило широкое развитие в начале XIX в. металлообработки, вызванное, прежде всего, изготовлением паровых машин.

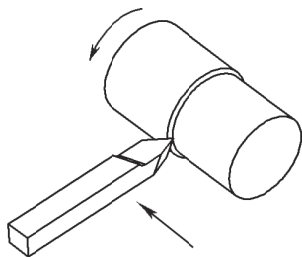


Рис. 3.25. Схема обработки заготовок точением

Для обработки цилиндрических поверхностей были построены разные типы токарных станков, в которых мог перемещаться как обрабатываемый предмет (вращательное рабочее движение), так и режущий инструмент (подача) (рис. 3.25). Постепенная специализация токарных станков применительно к требуемой обработке привела к созданию специализированных станков, например лобовых

токарных станков, в которых подача происходит перпендикулярно к образующей цилиндра, и токарно-винторезных станков с вращением обрабатываемого предмета и с подачей резца вдоль образующей цилиндра. Для обработки плоскостей были построены строгальные станки.

Абразивные станки (точила) выделились в самостоятельную группу оборудования довольно рано. Они представляли собой круги естественного камня, приводимые в движение мускульной силой человека, лошадьми или водяным колесом. На протяжении весьма длительного времени конструкции этих станков менялись очень мало. Появление усовершенствованных абразивных станков относится уже ко второй половине XIX в.

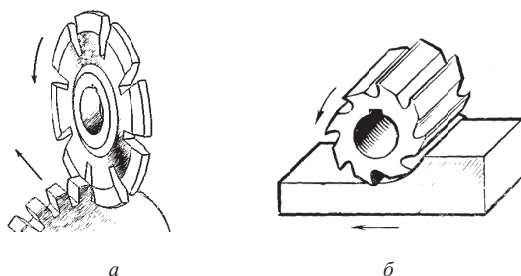


Рис. 3.26. Схемы фрезерования: *а* – зубчатых колес дисковой модульной фрезой; *б* – поверхностей цилиндрической фрезой

Возникновение станков фрезерной группы, прежде всего зубофрезерных, связано с потребностью в большом количестве точно изготовленных зубчатых колес для часов, получивших в XVII в. весьма большое распространение. Опыт конструирования мелких зуборезных станков часового производства был впоследствии, в XVIII в., перенесен на изготовление крупных станков, предназначенных для обработки ответственных и наиболее трудоемких деталей машин – зубчатых колес (рис. 3.26, *а*). Фрезерование металлических поверхностей стало практиковаться еще в XVIII в., но в промышленности этот вид обработки металлов был применен лишь в первой четверти XIX в. (рис. 3.26, *б*).

Глава 4. ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В ПЕРИОД СТАНОВЛЕНИЯ МАШИННО-ФАБРИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА (конец XVIII – 70-е гг. XIX в.)

Уже в начале XIX в. промышленный переворот, начавшийся в Англии в конце XVIII в., перекинулся из Англии во Францию, Северную Европу, Германию и совершенно преобразил их облик. Фабрики и заводы, оснащенные пока еще несовершенными, с нашей точки зрения, машинами, взорвали размеренную жизнь городов. Великие изобретения конца XVIII – начала XIX в. превратили Европу в небольшое пространство, насыщенное железнодорожными и пароходными линиями, оснащенное телеграфной и быстрой почтовой связью. Казавшиеся еще несколько десятилетий назад «медвежьим углом» отдаленные районы включались в процесс промышленного развития, выбивая последний козырь из рук феодальной знати. В конце концов, и ей пришлось, забыв о своем происхождении, включиться в гонку за прибылью. Героическая средневековая эпоха благородного мужества, изысканных манер и религиозного экстаза ушла безвозвратно, расчистив место таким прозаическим вещам, как налоги и бюджет, тарифы и акцизы, биржи и аукционы. Религией стала технология. К середине XIX в. промышленная цивилизация завоевала главенство в Европе. Труд наемного рабочего оказался более выгодным и более успешным, нежели труд зависимого крестьянина Средневековья. Добыча угля, уровень выплавки чугуна, протяженность железных дорог были теперь показателями развития государства.

Во второй половине XIX в. капиталистическое производство вступило в новую фазу. Из соперничества промышленников и торговцев выросли монополии – крупные объединения капиталистов, сосредоточившие в своих руках большую часть производства и продажи товаров. Конечно, мелкие и средние фабрики и заводы не исчезли, но дух экономики определялся уже не свободной конкуренцией безвестных торгашей, а договоренностями между Морганом и Рокфеллерами, Круппани и Ротшильдами. Огромную роль в хозяйственной жизни стали играть банки, которые подчинили себе целые отрасли промышленности.

Тогда же, в середине XIX в., выяснилось, что время от времени хозяйство сотрясают кризисы перепроизводства товаров, которые не мо-

гут себе позволить покупать крестьяне и горожане. Все больше и больше в мире заговорили о «свободной торговле», особенно после отмены «хлебных законов» в Англии (1846 г.), т. е. ликвидации запретительных тарифов на ввоз в страну иностранной пшеницы. Может быть, в последний раз Британия, постепенно терявшая свое положение «мастерской мира», оказалась в положении первопроходца – она почти лишилась собственного зерна и превратилась в чисто индустриальную страну. Более крупные капиталистические страны – Германия, Франция и особенно США – сохранили престиж крестьянского труда, но земледелец там превратился в результате аграрных реформ в фермера – полномочного владельца своей земли.

Середина XIX в. характеризуется бурным ростом промышленного производства в Англии. Особенно велик был рост текстильной промышленности. Если в 1850 г. в Англии был всего миллион веретен на хлопчатобумажных прядильных фабриках, то в 1855 г. их число превышало 10 миллионов, а еще через пять лет увеличилось до 332 миллионов. В Англии добывали в полтора раза больше угля, чем на всем европейском континенте; чугуна и стали производилось также больше, чем во всей Европе. Англия намного опережала другие страны и в строительстве железных дорог – в 1856 г. их протяженность составляла уже более 10 тысяч английских миль и продолжала увеличиваться. В связи с этим росла потребность в стальных рельсах.

Промышленный переворот, начавшийся в Англии в текстильной промышленности, весьма скоро распространился на другие отрасли производства и охватил западноевропейские, а затем и другие страны. Его последствия были весьма глубокими и разносторонними. В области техники следствием промышленного переворота был переход на индустриальный способ производства с широким использованием машин, заменивших руку человека во многих технологических процессах. В процессе промышленного переворота сложилась развитая совокупность машин, состоящая из двигателя, передаточного механизма и рабочего исполнительного механизма. На смену мануфактуре пришла машинная индустрия.

Основной базой производства стали заводы и фабрики, получившие новые, неизвестные мануфактурному производству характеристики. Упомянутая совокупность двигателя, передаточного механизма и машины-орудия нашла свое конкретное выражение в следующих формах, присущих в той или иной степени любому заводу, любой фабрике. Это, прежде всего, силовая установка – центральная энергетическая база пред-

приятия, состоящая из котельной, машинного отделения со всем вспомогательным оборудованием. Второе звено – трансмиссия, охватывающая цехи фабрики, распределяющая энергию силовой установки на десятки и сотни станков через сложную систему валов, шестерен, муфт, шкивов, ремней и канатов. Это, наконец, рабочие машины – разнообразные станки, потребляющие механическую работу для технологических процессов резания, сверления, строгания, вытачивания и т. п. Коренным образом изменились технологические процессы, организация труда и производства, энергетика промышленности, система транспорта и связи.

Экономическим последствием промышленного переворота было становление и развитие крупного машинного производства, появление большого числа предприятий в разных местах, богатых природными ресурсами и обеспеченных рабочей силой, путями сообщения. Коренным образом меняется экономическая география стран. Постепенно сокращается кустарное или мелкое производство, и преобладающим товаром на рынке становится продукция фабрично-заводской промышленности. Разрастаются индустриальные центры, в которых концентрируется большое количество жителей, а в связи с этим развивается строительство крупных зданий (конторы, гостиницы, складские здания, фабрично-заводские помещения и т. п.).

В рассматриваемый период пар как главный источник энергии последовательно и интенсивно вытесняет вододействующие механизмы. Несмотря на то что внедрение паровых двигателей породило громоздкую систему рычагов и трансмиссий на производстве, это привело к удешевлению производства и вызвало новый скачок развития. Оказалось выгодным не только продавать свои товары на отдаленных рынках, но и организовывать производства, строить заводы и фабрики в странах, где труд рабочего стоит дешевле. Именно тогда европейская цивилизация стала внедряться на безбрежных равнинах Азии и Африки, подчиняя себе традиционный общинный уклад жизни этих народов.

Формы научного общения, носящие заочный характер, вроде публикаций в периодической печати, переписки по почте, в XIX в. перестали удовлетворять ученых, поэтому возникла необходимость в их непосредственном общении. Так родились научные конференции – встречи ученых из разных городов в одном месте и их непосредственное общение на заранее заданные темы на конгрессах, симпозиумах и семинарах. В результате ученые получили возможность лично познакомиться с коллегами, которых прежде знали лишь по публикациям, обсудить в неформальной обстановке насущные проблемы, узнать последние науч-

ные новости, расспросить признанного специалиста – словом, ощутить живое дыхание науки.

Во второй половине XIX в. началась эра международных научных конгрессов. Их проводят статистики (Брюссель, 1853 г.), химики (Карлсруэ, 1860 г.), математики (Цюрих, 1897 г.).

Традиция проведения национальных конференций в России берет свое начало со съездов Русского физико-химического общества, созданного в 1878 г., когда объединились Русское химическое общество (основано в 1868 г.) и Русское физическое общество (основано в 1872 г.). Именно съезды Русского физико-химического общества были первым толчком к развитию в России национальных тематических конференций.

4.1. Особенности развития металлургии в условиях машинно-фабричного производства

В итоге промышленной революции конца XVIII – начала XIX в. начался процесс перехода от мануфактуры к капиталистическому машинно-фабричному производству, характеризующемуся распространением в производстве рабочих машин и универсального парового двигателя. Началось техническое перевооружение машиностроения, позволившее производить машины машинами. Машиностроение, оснащенное разнообразными рабочими машинами и опирающееся на паровую энергетику, дало возможность создавать самое разнообразное оборудование для всех отраслей промышленности.

В связи с развитием машинного производства возник ряд проблем и перед наукой, в том числе в области системы мер и весов, изучения свойств водяного пара и других вопросов термодинамики, в области кинематики механизмов, механики и т. д.

Техническое перевооружение машиностроения дало мощный стимул развитию металлургии. Металл становится основным материалом в конструкциях машин, станков, передаточных механизмов и строительных сооружений. Развитие машинной индустрии сопровождалось повышением спроса на железо и цветные металлы. Перед металлургией встала задача перехода на новые способы получения металлов. Создание технологического оборудования больших габаритов и мощностей потребовало новых, более эффективных сплавов, расширения их производства, создания технологий, обеспечивающих получение крупных поковок и полуфабрикатов.

Основным конструкционным материалом было сварочное железо. До 80-х гг. XVIII в. выделка железа производилась кричным способом. Однако в условиях машинно-фабричного производства кричный передел уже не мог удовлетворить требованиям интенсивно развивающейся промышленности. Широкую дорогу для резкого увеличения производства стали дала технология, внедренная Г. Кортон, внесшим в систему производства железа крупные технические новшества. В результате с 80-х гг. XVIII в. начал быстро распространяться процесс пудлингования, ставший в рассматриваемый период главенствующим в черной металлургии. Но кричный процесс сразу не исчез и продолжал играть еще значительную роль в металлургии железа вплоть до 60–80-х гг. XIX в.

Промышленный переворот, начавшийся в текстильном производстве, внес коренные изменения во все прочие отрасли техники. Помимо металлургии, особо значительные изменения произошли в области транспорта и связи, в строительстве.

4.2. Металлургия Англии в XIX в.

Получение стали по методу Г. Бессемера. Генри Бессемеру принадлежало большое количество изобретений – хороших и плохих, полезных и вредных. В молодые годы случались «плохие» изобретения, но затем постепенно стали преобладать «хорошие».



Генри Бессемер
(1813–1898)

Восемнадцатилетним юношей он создал печатный пресс, который исключил возможность подделки меток и печатей. Англии это сэкономило миллионы, изобретателю же принесло лишь малооплачиваемую должность королевского смотрителя печатей. Патент на это изобретение мог бы обогатить его. Несколько лет спустя он изобрел бронзовую краску, которую до тех пор ввозили по очень дорогой цене. На этот раз он взял патент. Доход был значительным. Только в первое время он получал ежегодно более тысячи фунтов, что по тем временам было немалой суммой. Будучи от рождения изобретателем, Генри Бессемер заявил за свою жизнь более 120 патентов.

Именно благодаря своей неумной изобретательности Бессемер начал новую эпоху в черной металлургии: на смену веку сварочного железа пришел век литой стали. Все началось, как всегда, с изобретения.

Бессемер изобрел снаряд, который при выстреле из гладкоствольной пушки под действием тангенциально направленных пороховых газов приобретал вращательное движение. В Англии на это изобретение не обратили внимания. Но иначе было во Франции. Наполеон III распорядился произвести в Венсенском лесу опытные стрельбы, и результаты оказались удовлетворительными. Теперь необходим был более надежный материал, который превосходил бы по прочности хрупкий чугун и был дешевле тигельной стали.

Бессемер начал проводить опытные плавки чугуна и стали в пламенной отражательной печи. Поскольку температуры в этой печи были недостаточно высокими для плавления стали, он расположил под порогом, отделявшим ванну от топки, воздушные фурмы (сопла). Наблюдая за плавкой, он заметил, что куски литейного чугуна, некоторое время находившиеся под воздействием воздушной струи, поступающей через фурмы, превращались в ковкое железо. Бессемер резонно предположил, что если так «ведет себя» литейный чугун, то аналогично должен вести себя и передельный, который не отличается от него по составу. Тогда и появилась мысль продуть через жидкий доменный чугун воздух, чтобы получить таким образом ковкое железо.

В 1855 г. Бессемер расплавил в керамическом тигле пять килограммов доменного чугуна, а затем продул через полученный расплав воздух, который поступал по вставленной в днище тигля керамической трубке. После такой обработки нековкий чугун действительно превратился в ковкое железо. Эту первую бессемеровскую сталь прокатали в морском арсенале в Вулвиче, городском квартале Лондона. И по сей день в собрании Института материалов, минералов и горного дела в Лондоне хранится проба этой стали, к которой посетители относятся как к реликвии. Свой способ получения стали Генри Бессемер запатентовал 17 октября 1855 г.

Прошло немного времени, и владельцы металлургических предприятий начали искать встреч с Бессемером – не было никаких сомнений в том, что при непрерывно растущем потреблении стали эксплуатация нового изобретения даст гигантские прибыли. Каждый из них хотел поскорее получить свою долю пирога, но никто не догадывался, что пирога-то еще нет, что его еще надо испечь.

Генри Бессемер хорошо использовал сложившуюся ситуацию. Он был деловым человеком и потому выступил с тщательно продуманным планом, учитывая всеобщее стремление к максимальным прибылям. Бессемер разделил Великобританию на пять промышленных районов

и для каждого из них нашел владельца металлургического завода, который за 10 тысяч фунтов стерлингов становился обладателем лицензии на новый способ выплавки стали. Выбранные им деловые партнеры обязаны были платить лицензионные налоги только в течение одного года, а не четырнадцати лет, как это предусматривалось английским патентным законодательством. Таким образом обеспечивалась личная заинтересованность владельцев заводов. На таких условиях они постараются эксплуатировать патенты как можно дольше и будут всеми доступными средствами защищать свои интересы и тем самым, естественно, и интересы Бессемера. Сам же Бессемер планировал быстро стать обладателем необходимого ему свободного капитала.

Вначале казалось, что все идет нормально и его расчетам суждено оправдаться. На многих заводах Англии начали проводить опытные плавки по методу Бессемера. Однако очень скоро появились первые неудачи, а вместе с ними и первые неудачники и разочарованные. Предъявлялись прямые претензии к автору изобретения. Одни утверждали, что температура чугуна не возрастает без дополнительного обогрева, другие – то, что вдувание воздуха, хотя и приводит к обезуглероживанию, но оно, видимо, недостаточно, так как металл не поддается ковке. Противники Бессемера, а они были не только в Англии, но и за ее пределами, находили в обезуглероженном по его методу металле массу недостатков – он и грубозернистый, и пористый, и с раковинами, и хладноломкий, и красноломкий, ставили под сомнение саму идею продувки чугуна воздухом, а также ее новизну и прогрессивность, утверждая, что задолго до Бессемера проводили подобные опыты и результаты всегда были отрицательными.

В сложившейся ситуации на помощь Бессемеру пришел шведский торговец Геран Фредерик Герансон (1819–1900), было это весной 1857 г.

Швед предложил сотрудничество, а Бессемер предложил ему специалиста – инженера, которого обучал сам. Это был способный специалист, кроме того, Бессемер был убежден, что посланный в Швецию инженер будет соблюдать и его интересы. В Швеции, в Эдскене, англичанин соорудил такую же бессемеровскую установку, как в Англии. По совету Бессемера здесь было увеличено давление дутья, с этой целью была закупорена половина из 12 донных сопел, и продувку вели только через шесть оставшихся. Каждый раз, когда после слабого кипения начиналось бурление металла, картина становилась впечатляющей. Сначала скромное сине-красное пламя быстро росло и светлело. Фонтан искр и клубы коричневого дыма извергались из горловины. Мощный

рев заглушал все другие звуки. Через четверть часа шум, искрение и выбросы дыма уменьшались. Это означало, что металл готов. Однако полученные результаты полного удовлетворения не давали.

Специалисты, и среди них посланник Бессемера, считали, что недостаточна мощность вентилятора, подающего дутье. Фредерик Герансон думал иначе. По его мнению, давление дутья следует уменьшить, а количество его, т. е. расход воздуха в единицу времени, увеличить. Для этого вполне пригоден имеющийся паровой двигатель, приводивший воздуходувную машину. Все, в том числе и англичанин, вначале удивленно молчали, но потом с удвоенной энергией стали доказывать его неправоту. Ведь это противоречило совету Бессемера. Однако швед был упрям и настоял на своем. Он вскрыл шесть закупоренных сопел и увеличил диаметр всех сопел.

Упрямый Герансон отправил английского инженера на родину и продолжил опыты самостоятельно. Он оказался прав во всем: первая же плавка, проведенная в новом режиме, дала хорошее ковкое железо, или, как его сегодня называют, низкоуглеродистую сталь. Это произошло 18 июля 1858 г. С этого дня получение стали по способу Бессемера начало свое победное шествие по Швеции. Фредерик Герансон отправил в Англию 15 тонн своей новой стали. На сталеплавильном заводе Бессемера в Шеффилде эту сталь квалифицировали как превосходный материал для производства листа, а также инструментов, ножей и ножниц.

Успех Герансона в Швеции превратился в триумф Бессемера. Его противники вынуждены были признать свою неправоту. В мае 1859 г. Бессемер выступил с циклом сообщений в Ассоциации инженеров гражданского строительства в Лондоне. Бессемер говорил об усовершенствованиях своего изобретения. Конструкция продувочной емкости-конвертера, или бессемеровской груши, как ее называли, была уже настолько отработана, что на протяжении почти целого столетия не потребовалось каких-либо принципиальных изменений (рис. 4.1). Повсюду отмечали заслуги Бессемера, за каждую тонну стали, которую выплавляли по его методу, Бессемер требовал (и получал) один фунт стерлингов.

Почет и награды посыпались на изобретателя. В 1879 г. он стал членом Королевского общества. В том же г. королева присвоила Бессемеру титул дворянина. Сэр Генри Бессемер превратился в легенду. Учрежденная им золотая медаль Бессемера является и сегодня высшей наградой для английских металлургов. Умер Бессемер 15 марта 1898 г. на 86-м году жизни в своем поместье Денмарк Хил близ Лондона.

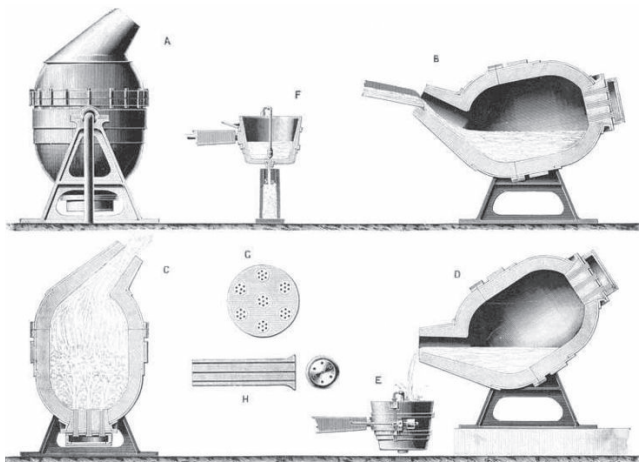


Рис. 4.1. Устройство и работа бессемеровского конвертера

Изобретение Генри Бессемера положило начало новому периоду в металлургии железа. Названный его именем способ обеспечил возможность резкого увеличения выплавки стали. Поэтому естественно, что многие металлурги стремились усовершенствовать его. Кроме основного патента Бессемер взял несколько дополнительных. Другие металлурги, усовершенствуя метод, также патентовали свои изобретения. С такими изобретателями Бессемер вел неустанную борьбу, оберегая свои права и привилегии. При этом, стремясь устранить своих действительных или возможных конкурентов, великий человек не стеснялся в выборе средств. Однако, одержав победу, он быстро и легко становился великодушным.

Раскисление бессемеровской стали. Роберт Мюшет (1811–1891) внес в бессемеровский процесс довольно значительное усовершенствование.

Какая проблема стояла перед металлургами, выплавлявшими сталь по методу Бессемера? Дело в том, что при продувке стали воздухом часть кислорода растворялась в нагретом металле. В процессе остывания металла, при его кристаллизации, избыточный кислород выделялся в свободном состоянии и, реагируя с железом, образовывал оксид железа. Включения оксида железа резко снижали механические свойства стали, они служили концентраторами напряжений и ограничивали возможность применения изделий из бессемеровской стали.

Чтобы удалить избыточный кислород из жидкой стали, в нее необходимо добавить вещество, имеющее большее химическое сродство кислородом, чем железо. В наше время в основном применяют марганец и в исключительных случаях – алюминий. В результате такой добавки кислород соединяется с марганцем и образуется оксид марганца. Он обладает значительно меньшей плотностью, чем жидкая сталь, поэтому всплывает вверх и соединяется с металлургическим шлаком на поверхности. Затем шлак удаляют и получают сталь, свободную от кислорода.

Роберт Мюшет открыл процесс раскисления (т. е. удаления кислорода) полностью обезуглероженного бессемеровского металла при помощи марганцевого ферросплава (содержащего 80 % марганца и 20 % железа, такой сплав иногда называют зеркальным, или марганцовистым, чугуном). В результате получалась высококачественная сталь, очищенная от кислорода. Непосвященному трудно оценить открытие Роберта Мюшета, которое позволяло значительно улучшить качество бессемеровской стали и повысить стабильность и надежность процесса. Бессемер же сразу понял, что это сулит в будущем, и поэтому вначале попытался помешать выдаче патента. Однако патент Мюшету все же был выдан. Начались длительные переговоры с адвокатом Мюшета.

У Бессемера было несколько патентов на производство железнодорожных рельсов, и один из них, выданный 17 октября 1855 г., разрешал отливку слитков, предназначенных для прокатки рельсов, из обезуглероженного или частично обезуглероженного металла. Того, что английская железнодорожная сеть за 1860–1880 гг. увеличится более чем в двадцать раз, даже они, люди, причастные к техническому прогрессу, не подозревали.

Еще больше был бы удивлен Бессемер, если бы кто-нибудь сказал ему, что Роберт Мюшет будет первым инженером, который прокатает из бессемеровской стали, раскисленной марганцовистым чугуном, первый железнодорожный рельс. Однако скоро отлитый и прокатанный под руководством Роберта Мюшета рельс был уложен на железнодорожное полотно на вокзале в городе Дерби. По этому рельсу прошло более миллиона с четвертью вагонов и паровозов, и рельс прекрасно выдержал это испытание.

Мюшет вынужден был уступить свой патент Бессемеру, так как не располагал достаточными средствами для его эксплуатации. Несмотря на это, его имя вписано в золотую книгу великих изобретателей.

Устранив Мюшета как конкурента, Бессемер проявил великодушные. Он пожизненно выплачивал ему пенсию. Что было в основе этого

поступка – простая человечность или угрызания совести, нам неизвестно. Пенсию можно было рассматривать как определенного рода лицензионные отчисления. Кроме того, Мюшету присудили учрежденную Бессемером медаль.

Получение стали по методу С. Томаса. Окончательную победу методу продувки над пудлингованием принес другой человек. Дело в том, что бессемеровский процесс был пригоден не для всех сортов чугуна. Если железные руды содержали фосфор, то и чугун получался с высоким содержанием этого нежелательного элемента, причем все попытки удалить фосфор продувкой воздухом не давали положительного результата. Два десятилетия ушло на разрешение этой проблемы.

Человека, которому удалось решить эту проблему, звали Сидни Джиллькрест Томас (1850–1885), было ему в это время 28 лет. Его изобретение, как, пожалуй, ни одно другое, стало величайшей сенсацией и завоевало все промышленно развитые страны мира.

Молодого человека, который учился на врача, увлекали естественные науки. Он часто посещал научно-популярные лекции в институте Бирбека. Особенно интересовали его лекции по химии, которые читал профессор Джордж Челонер. Этот лектор, как мало кто другой, умел увлечь слушателей и очень доступно рассказать о стоящих перед его наукой проблемах. Однажды профессор Челонер говорил о бессемеровском процессе. При этом он сказал: «Тот, кому когда-либо удастся удалить фосфор из стали при бессемеровском процессе, станет в один ряд с величайшими изобретателями человечества».

С того дня Томас занялся этой проблемой. Он начал посещать Королевскую горную академию и слушал лекции известного далеко за пределами Англии Джона Перси. Он начал также писать статьи в издаваемый профессором Челонером журнал *Iron*. Его рабочая загрузка в эти годы подорвала бы здоровье и физически более крепкого человека, чем он. Но проблема дефосфорации бессемеровской стали, которая, как и прежде, оставалась центральной в сталеплавильном производстве, не давала ему покоя.

И вот настал день, когда Томас пришел к убеждению, что ключ к решению задачи у него в руках. По мнению Томаса, бессемеровский конвертор надо изнутри футеровать обожженным доломитом, а в расплав добавлять пылеватую известь, тогда имеющийся в металле фосфор будет связан в химические соединения и удален в шлак.

Изобретатель привлек к работе своего двоюродного брата Перси К. Джиллькреста. Вместе они провели необходимые исследования, и все сомнения остались позади. Томас подал заявку на новый патент. Это

было в ноябре 1877 г. Был заявлен доклад в знаменитом лондонском Институте материалов, минералов и горного дела, однако, к разочарованию Томаса, он совершенно не привлек внимания общественности. Работа была продолжена и представлена на Всемирной выставке в Париже в 1878 г. Затем, спустя несколько недель после возвращения с Всемирной выставки, был получен второй патент, имевший особенно большое значение для дальнейшей судьбы изобретения.

Пришли слава, известность. На весеннем собрании в Институте материалов, минералов и горного дела 8 мая 1879 г. Томаса встретили уже иначе, чем год назад. В докладе он смог представить свой способ как вполне отработанный и проверенный на практике в заводских условиях. Никаких предположений, домыслов, догадок.

Новый процесс получения стали очень быстро распространился по всему миру, принеся широкую известность автору, на его долю выпало много почестей. Генри Бессемер лично вручил Томасу золотую медаль своего имени. Прожил Сидней Томас недолго. Он умер в Париже 1 февраля 1885 г.

4.3. История мартеновского процесса

В 1843 г. австриец Вильгельм Сименс (1823–1883) поехал в Англию, чтобы продать изобретенный его братом Вернером способ гальванического золочения. Очень скоро один из английских предпринимателей приобрел патент на этот способ за 1 500 фунтов. Третий брат – Фридрих Сименс – тоже осел в Лондоне и стал сотрудничать с Вильгельмом. Оба обладали исключительным чутьем на выгодные дела, поэтому, когда однажды у них возникла идея соорудить плавильную печь для выплавки тигельной стали, братья активно взялись за работу.

Фридрих Сименс занимался проблемой снижения тепловых потерь в промышленных печах путем создания регенеративной топки. На это у него был патент. Вильгельм тоже имел опыт в этом деле – ему принадлежала идея создания регенеративной паровой машины, которую он сумел продемонстрировать публике на Всемирной выставке в Париже в 1855 г. Идея заключалась в том, чтобы вторично использовать отработавший пар, регенерируя его.

Суть печного регенеративного обогрева заключается в том, что горячие газы горения, проходя через каналы кирпичной насадки регенератора, отдают ей значительную часть тепла прежде, чем достигнут отво-

дящего тракта и трубы. Когда насадка нагревается до достаточно высокой температуры, газы горения начинают отводить через другой регенератор, а через первый пропускают генераторный газ и свежий воздух, которые при этом нагреваются. Тем временем газы горения нагревают насадку второго регенератора, и после ее нагрева до требуемой температуры снова переключают тракты. Следовательно, суть регенерации тепла в металлургических печах заключается в подогреве входящего в печь воздуха отходящими из печи газами. Таким образом, тепловая энергия, выделяющаяся при сжигании угля, используется значительно полнее, а достигаемые температуры значительно выше, что и позволяет плавить в такой печи сталь.

На подобную печь братьям был выдан английский патент, датированный 22 января 1861 г. В нем прямо говорилось об использовании такой печи в металлургии стали. Попыты по внедрению указанного способа выплавки стали было намечено провести в Шеффилде – центре английской сталеплавильной промышленности. Братья Сименсы не теряли времени и вскоре после выдачи патента прибыли в Шеффилд. Целые дни они проводили на заводе, где руководили сооружением опытной печи. Братья далеко не всегда были согласны друг с другом, совместная работа была трудной.

Наконец строительство печи было закончено. Загрузили тигли и начали разогрев. Клапаны переключения газоходов (перекидка клапанов) функционировали нормально. Все, казалось, шло хорошо. Но это только казалось. После завершения опыта выяснилось, что расплавились не только сталь, но и несколько тиглей, а также футеровка. Вильгельм Сименс упрекнул брата в том, что тот не послушал его и разогревал печь слишком быстро. Фридрих не стерпел замечания брата, возникла ссора, в результате которой он уехал в Германию. В Дрездене Фридрих Сименс вместе с еще одним своим братом, Гансом Сименсом, основали стекольный завод. Сложно понять, отчего все-таки возник разрыв: то ли из-за оскорбленного самолюбия младшего брата, то ли из-за неудавшегося предприятия. К этому времени уже возникли серьезные финансовые трудности, которые можно было устранить лишь при положительном исходе опытов. Весьма сомнительно, что после постигшей братьев неудачи удастся продать лицензию на их регенеративную печь.

Вильгельм Сименс по-прежнему энергично работал над внедрением регенеративной печи в промышленность. Он встречался и переписывался со многими металлургами, в том числе и с известным французским ученым-металлургом Анри Луи Ле Шателье (1850–1936). Этот контакт сыграл особую роль.

В южнофранцузском городке Сирей жил Пьер Эмиль Мартен (1824–1915), которому принадлежал небольшой металлургический заводик. Мартена считали опытным металлургом, и он занимался поставкой французскому правительству ружейных стволов для нарезных штуцеров. Спрос на ружейные стволы возрастал, и это побудило Мартена заняться поиском способа, который позволял бы получать сталь, не уступающую по качеству тигельной, но более дешевую.

Через Ле Шателье Мартен обратился к Вильгельму Сименсу с просьбой построить у него высокопроизводительную сталеплавильную печь. Этот заказ был выполнен, но успех не пришел. Дело в том, что Пьер пытался выплавить сталь прямо на поду (нижней, рабочей части) сименсовской печи с регенеративным обогревом, без применения тиглей. Но большие затруднения вызывала футеровка пода, так как жидкая сталь проникала в кладку и разрушала ее. Сименс посоветовал использовать печь для сварки, т. е. для нагрева стальных изделий до температуры, требуемой для кузнечной сварки. Но Мартен не последовал его совету.

После нескольких опытов было сделано принципиальное изобретение, предотвращающее разрушение пода печи при плавке стали. Сталь из чугуна и стального скрапа (металлолома) Мартен выплавлял в сименсовской печи на набивном песчаном поду. Такой под в отличие от кирпичной футеровки не имел зазоров, а был сплошным. Это позволяло проводить плавку в течение длительного времени, не опасаясь его разрушения жидкой сталью (рис. 4.2).

И вот, наконец, 8 апреля 1864 г. плавка удалась. Через два дня Пьер Эмиль Мартен запатентовал способ во Франции, а через несколько месяцев и в Англии. По стечению обстоятельств Вильгельм Сименс узнал об успехе спустя год.

Таким образом, в результате поиска возник способ, основанный на совместной плавке чугуна и стального металлолома (скрапа) на набивном поду регенеративной печи, так называемый скрап-процесс. Мартеновская сталь оказалась превосходным материалом для ружейных стволов.

Вильгельма Сименса занимало теперь другое. Он работал над идеей прямого получения стали из руды. Лишь много позднее он оценил то громадное значение, которое имел скрап-процесс. Подобно австрийскому барону Ухациусу, который выплавлял «рудную сталь» из чугуна и железной руды в тигле, Вильгельм Сименс хотел выплавлять сталь на поду регенеративной печи. И он добился успеха. Предложенный им способ получил название рудного (скрап-рудного) процесса, который стал одним из важных вариантов мартеновского способа выплавки стали.

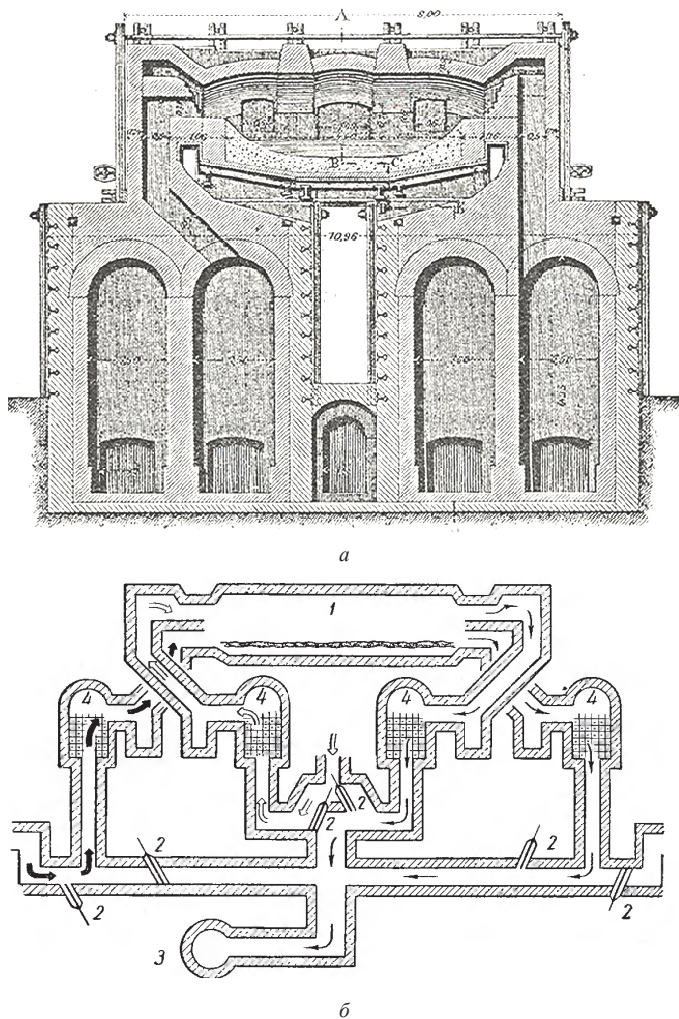


Рис. 4.2. Разрез (а) и схема (б) мартеновской печи: 1 – ванна, где варится сталь; 2 – заслонки; 3 – дымовая труба; 4 – регенеративные насадки. Толстые черные стрелки показывают путь газообразного топлива, белые – воздуха, тонкие черные – продуктов горения

В начале ноября 1866 г. Вильгельм Сименс и Мартен заключили договор. При возникновении спорных моментов каждый из партнеров сохранял право на преимущество. Сименс-мартеновский процесс

успешно конкурировал с конверторным. Его преимущество состояло в возможности получать высококачественную сталь, используя стальной лом, количество которого непрерывно накапливалось. Это преимущество привело к тому, что вскоре повсеместно были сооружены мартеновские сталеплавильные цехи. Почти половину всего мирового производства стали давали сименс-мартеновские печи.

На Всемирной парижской выставке Мартен был награжден золотой медалью за их отличную сталь. Сименс-мартеновская сталь превратилась в понятие и оставалась таковой более 100 лет. Однако в настоящее время мартеновский способ производства стали практически вытеснен гораздо более эффективным кислородно-конвертерным способом (около 63 % мирового производства), а также электроплавкой (более 30 %). Начиная с 1970-х гг. новые мартеновские печи в мире более не строятся. По результатам 2008 г. на мартеновский способ производства приходится 2,2 % мировой выплавки стали. Так, объем выпуска мартеновской стали в СССР/России упал с 52 % в 1990 г. до 22 % в 2003 г. и 16,5 % в 2008 г. Наибольший удельный вес выплавки стали мартеновским способом – по результатам 2008 г. – наблюдался на Украине (свыше 40 %).

Для Пьера Мартена жизнь приберегла своеобразный эпилог. Он пережил свою славу, и, хотя везде говорили о сименс-мартеновской стали, никто не вспоминал изобретателя. Все считали, что Мартена давно нет в живых. А Пьер прожил еще четыре десятилетия после зенита своей славы, причем жил в нужде и нищете, в тяжелейших условиях в одном из пригородов Парижа. В 1910 г. «нашли» этого человека – человека, которому черная металлургия всего мира обязана очень многим.

Те, кому его изобретение принесло громадные прибыли, краснея, полезли в карманы. Умер Пьер Мартен в 1915 г. в возрасте 91 года. Незадолго до его смерти лондонский Институт материалов, минералов и горного дела присудил ему бессемеровскую золотую медаль.

Измерение температур в металлургии. Вопрос измерения температуры в металлургической печи принципиально важен для качественной плавки. Однако на протяжении большей части человеческой истории точных методов измерения температур не существовало.

Древнейшим способом определения температуры металла является способ определения цвета нагретой заготовки, позволяющий с достаточной долей точности определить относительную температуру металла. Именно по этой причине во всех кузницах мира во все времена кузнецы работают в полутьме. Ведь только в темноте можно уверенно

отличать оттенки цвета нагретой заготовки – от темно-вишневого до ослепительно белого.

Изобретение жидкостных градусников и шкал температур Цельсием, Фаренгейтом и Реомюром мало дало металлургам XIX столетия. Ведь жидкостные градусники весьма ограничены по температурному интервалу работы. Так, например, самый высокотемпературный ртутный градусник не сможет измерить температуру выше 600 °С. А температура плавления стали составляет более 1 500 °С.

Поэтому металлурги XIX в. стали работать над решением задачи измерения высоких металлургических температур. И решения были найдены, и даже не одно.

Немецкий ученый Томас Йохан Зеебек (1770–1831) занимался изучением магнитного поля Земли. Опыты Зеебека сводились к следующему. Он использовал два разнородных материала в виде проволоки из висмута и меди, приводил их в контакт и нагревал с одной стороны. В результате Зеебек наблюдал возникновение магнитного поля, которое фиксировалось по отклонению магнитной стрелки. Физиков многих стран ознакомил с новым эффектом в 1823 г. Ганс Христиан Эрстед (1777–1851), датский физик, узнавший о работах Зеебека. В этом же году Эрстед на заседании Французской академии наук сделал доклад, начиная его словами: «Я имею честь продемонстрировать ассамблее замечательные опыты, благодаря которым Зеебек доказал, что можно получить электрический ток в цепи, сформированной исключительно из твердых проводников, нарушая только равновесие температуры». Эрстед показал, что явление, обнаруженное Зеебеком, имеет не магнитную, а электрическую природу, и заключается в возникновении электрического тока в замкнутом контуре из неоднородных проводящих материалов, когда места контактов имеют разные температуры. Отсюда следовало предложенное Эрстедом другое, более точное название эффекта – термоэлектричество, которое и закрепилось в физике.

Таким образом, открытие термоэлектричества на основе опытов Зеебека скорее можно присвоить не самому Зеебеку, а Эрстеду, давшему правильное объяснение этим опытам. Интересно, что Зеебек до конца жизни был противником термоэлектричества, хотя Эрстед никогда не оспаривал первенство открытия эффекта, признавая его за Зеебеком.

В 1830 г. итальянский профессор Леопольд Нобили впервые использовал термометр для измерения температуры. Затем в течение всего XIX столетия множество физиков, среди которых Беккерль, Ом, Пельтье, Ленц, Томпсон (лорд Кельвин), Ле Шателье, исследовали множе-

ство явлений, связанных с термоэлектричеством, и создавали приборы на основе термопар для измерения температур. Сейчас применение термоэлектрических пирометров на основе термоэлектрического эффекта является одним из самых распространенных способов контроля высоких температур.

Ле Шателье, кроме того, вместе с Вильгельмом Сименсом смог сконструировать оптический пирометр, который позволял измерять температуры, вообще не прикасаясь к измеряемому телу. Принцип работы этого прибора очень похож на старейший способ измерения температур, который мы упомянули в начале этого параграфа, т. е. на сравнении цвета свечения нагретой заготовки. Надо было формализовать процесс сравнения цветов, делать это не на глаз, а более точно.

Для решения этой задачи предлагается смотреть на измеряемое тело через окуляр пирометра, в котором присутствует нагретая спираль. Поворотом регулятора можно изменять электрический нагрев спирали так, чтобы она в окуляре сливалась с измеряемым объектом (если спираль будет темнее объекта – она холоднее, если светлее – то горячее), затем остается только считать показания заранее откалиброванной шкалы.

4.4. Металлургия России в XIX в.

Павел Петрович Аносов. П. П. Аносов родился в Петербурге в семье мелкого чиновника горного департамента. В 1810 г. он был определен в Петербургский горный кадетский корпус, готовивший специалистов горного дела. Павел Аносов окончил его в 1817 г. с Большой золотой медалью. В этом же году молодой инженер прибыл на Златоустовские заводы в качестве практиканта. Вряд ли он мог предполагать тогда, что пройдет путь от практиканта до горного начальника Златоустовских заводов и директора оружейной фабрики. Но именно здесь, в Златоусте, он создаст свою теорию производства литой стали и овладеет вековой тайной получения булата. Начал же он с того, что представил дипломную работу «Систематическое описание горного и заводского производства Златоустовского завода».



Павел Петрович
Аносов
(1796–1851)

В то время Златоустовский завод хотя и имел устаревшее оборудование, но являлся металлургическим предприятием с полным циклом.

Чугун выплавлялся в доменной печи с двумя горнами, воздух в которые подавался мехами, приводящимися в действие водяными колесами.

Кроме передела на железо и сталь, чугун использовали для литья как в песчаные или глиняные формы, так и в металлические. Отливали молоты, наковальни, колеса, ядра, бомбы, а также гири, горшки, сковородки и другую хозяйственную утварь. В те годы говорили, что «вся Россия печет блины на уральских чугунах» (сковородах).

Для переработки чугуна в кричное железо и «уклад» (сырцовую сталь) на заводе действовали две кричные фабрики с 12 горнами. Каждый горн имел свой особый кричный молот, приводимый в действие водяным колесом. Для изготовления сортового железа работала специальная передельная фабрика с прокатными и резными станами для получения мерной полосы.

С древнейших времен кузнецы имели дело с так называемой булатной сталью. Классический слиток булата – вутс (вуц) – представлял собой небольшой кусок металла, размером и формой напоминающий буханку хлеба. Такие булатные слитки были большой ценностью и были известны на протяжении очень долгого времени. Столетиями они обращались в узких кругах придворных кузнецов Азии, а затем Европы. Из них изготавливали самые качественные и дорогие клинки, обладавшие невероятными для того времени свойствами. Точное происхождение вутсов не известно. Наиболее распространенной в наше время версией является та, что вутсы были изготовлены на территории современной Индии, вероятно, еще до нашей эры. Затем секрет изготовления булата был утерян. Аносов заинтересовался происхождением булата и занялся его секретом. Особенностью булата является характерный узор поверхности булатных клинков, который считался одним из основных признаков качества.

В первых своих опытах по получению булатной стали Аносов получил на поверхности стали такие мелкие узоры, что их характер трудно было определить невооруженным глазом. Поэтому Аносов начинает рассматривать их через лупу. Это, естественно, наводит на мысль использовать еще большие увеличения для изучения макроструктуры стали. Так Аносов подошел к применению микроскопа в металлургии.

Под микроскопом он видит, что поверхность металла покрыта мельчайшим слоем окислов и загрязнена. После шлифовки и полировки поверхности, а также обработки кислотой узоры видны более четко благодаря тому, что разные структурные составляющие неодинаково реагируют на действие кислоты. Систематическое исследование строения

стали под микроскопом потребовало от него в дальнейшем детально разработать технологию приготовления шлифов. Замечательно, что найденный Аносовым способ приготовления шлифов в основных чертах применяется во всем мире до сих пор.

Для получения булатной стали путем добавок различных элементов Аносов проверяет влияние легирующих элементов на проявление свойств стали. Он сплавляет железо с платиной, серебром, золотом, хромом, марганцем и другими элементами. В результате Аносов устанавливает, что хромистая сталь имеет преимущество перед марганцовистой, так как первая принимает высшую полировку и узоры ее красивее и более других приближаются к булатным, «что, вероятно, и послужило поводом французскому химику Бертье считать хромистую сталь за булат».

Влияние серебра и золота непринципиально, но все же благоприятно сказывается на вязкости и пластичности стали. Изучено влияние на узоры и свойства стали и других элементов. А вывод следующий: да, присутствие легирующих элементов в стали может вызывать появление узоров на ее поверхности, однако многие примеси не только не улучшают, но даже ухудшают свойства стали. Другие примеси хотя и не вредят и даже в некоторых отношениях улучшают сталь, но причиной образования булатного узора и свойств булата быть не могут.

Значит, поиск надо вести в другой области, не по химическому составу стали, а по технологии ее плавки. Именно на технологии получения булатной стали сосредоточился Павел Петрович Аносов.

Наконец в 1839 г. в помещении бывшей выставки в Санкт-Петербурге демонстрируются различного рода оружие и другие изделия из русского булата, который удалось получить Аносову. Русский булат получает прекрасный отзыв на третьей Московской мануфактурной выставке в 1843 г.

Работа П. П. Аносова «О булатах» в 1841 г. была представлена на Демидовскую премию. Демидовские премии присуждались Академией наук с 1831 г. Представитель знаменитой династии П. Н. Демидов вносил ежегодно по 20 000 рублей «на награды за лучшие по разным частям сочинения в России». Разбор сочинения «О булатах» был поручен академикам А. Я. Куперу и Б. С. Якоби. «П. П. Аносову, – писали они, – удалось получить сталь, обладающую всеми качествами, высоко ценимыми в азиатском булате, и превосходящую все сорта европейской стали, которые были чрезвычайно мягки, но после закалки по твердости своей превосходили лучшие сорта английской стали». И это была

правда, Аносов доказал, что «бритва из хорошего булата, без ошибок приготовленная, выбреет по крайней мере вдвое больше бород, нежели лучшая английская».

Дмитрий Константинович Чернов. В XIX в. последователи Аносова, известные русские металлурги П. М. Обухов, А. С. Лавров, Н. В. Калакуцкий, развивали его идеи о получении совершенной стали, искали научные обоснования металлургических процессов.



Дмитрий Константинович
Чернов
(1839–1921)

Прославленная русская артиллерия переживала период своего перевооружения. Развивающаяся военная техника требовала повышения дальности и меткости артиллерийских орудий, увеличения мощности их огня. На смену гладкоствольному оружию приходило оружие нарезное. Архаические пушки из бронзы заменялись стальными орудиями. Целая плеяда талантливых русских артиллеристов с большой энергией и настойчивостью работала над реконструкцией пушек. Чтобы создать первоклассные артиллерийские орудия из нового металла – стали, потребовалось решить труднейшие задачи в области технологии металлов.

Близ Петербурга возникают и быстро развиваются крупные металлургические заводы – Путиловский, Обуховский и др. В конце 50-х гг. XIX в. в России начинается производство стальных пушек. Оно сопровождается целым рядом крупных усовершенствований технологии производства пушек и развитием теории металлов. Так, например, А. С. Лавров изучал строение стального слитка, впервые применил алюминий для удаления кислорода из стали, выдвинул идею подогрева верхней части слитка термитными смесями, для того чтобы уменьшить его усадку и увеличить выход годного металла. Совместно с Н. В. Калакуцким он открыл и объяснил ликвацию стали – неравномерное распределение примесей в объеме слитка. Разработка способов изготовления крупных стальных отливок высокой прочности была успешно осуществлена П. М. Обуховым. Исходя из положений, выдвинутых Аносовым относительно роли присадок к стали, Обухов изготовил впервые в мировой практике титанистые и алюминиевые стали. Обуховская сталь для крупных отливок благодаря новой технологии в свое время была наилучшей по своим механическим свойствам и притом в несколько раз более дешевой, чем лучшие сорта зарубежной стали. На Лондонской вы-

ставке 1862 г. были экспонированы пушки Обухова, произведшие при открытых испытаниях более 4 000 выстрелов и оставшиеся после этого годными для дальнейшего применения.

Работы Аносова и его последователей продолжил выдающийся ученый-металлург Д. К. Чернов, обобщения и открытия которого в начале XX в. завершили формирование металловедения как науки.

Д. К. Чернов родился в семье фельдшера. В 1858 г. он окончил Санкт-Петербургский практический технологический институт и начал работу в механическом отделении Санкт-Петербургского монетного двора. В 1859 г. вернулся в университет, где до 1865 г. занимал должности лектора и хранителя музея. В 1866 г. Чернов был приглашен на Обуховский сталелитейный завод в Петербурге на должность техника молотового цеха.

Изготовление ствола тяжелого артиллерийского орудия было делом трудным. Прежде всего требовалась тяжелая стальная отливка. Однако тогда еще не было мартеновских печей и тем более печей электроплавильных, дающих возможность получать расплавленный металл сразу в больших количествах. Лучшая сталь, предназначенная для производства ответственных изделий – пушек и снарядов, – варилась в тиглях старым способом. Тигель представлял собой сосуд, изготовленный из огнеупорного материала. Он вмещал, самое большее, несколько десятков килограммов металла. Чтобы отлить огромную болванку для ствола орудия, приходилось вести плавку одновременно во многих тиглях.

Тигельная плавка требовала большого мастерства. Прежде всего нужно было правильно подобрать состав шихты, смешав в строго определенных пропорциях пудлинговое железо, чугун и железную руду. Процесс плавки требовалось вести таким образом, чтобы сталь поспела в одно и то же время в десятках тиглей.

Сталелитейный завод, построенный Обуховым на берегу Невы, считался в те времена технически совершенным предприятием. Его цехи были хорошо оснащены. Тяжелые стальные слитки проковывались под мощными молотами. Русские инженеры уже тогда имели отличные рецепты для выплавки стали. Знаменитые сталевары, привезенные Обуховым из Златоуста, где в это время было налажено производство стального литья, умели давать металл хорошего качества. И все же дело не ладилось. Химический состав стали был безукоризненным, однако ее механические качества оставляли желать много лучшего. Нередко пушки разрывались при первых же выстрелах, причиняя тяжелые увечья артиллеристам.

Много и долго работали специалисты над тем, чтобы установить причины плохого качества орудий. Но все их искания оставались безуспешными. В высших кругах все настойчивее стали говорить о прекращении производства в России стальных пушек. Как раз в это время на Обуховский сталелитейный завод был приглашен Чернов. Его упорная исследовательская работа вскоре увенчалась блестящим успехом. Д. К. Чернов не только разрешил загадку плохого качества стальных орудий, но сделал из этого обобщающие выводы, знаменовавшие собою переворот в области термической обработки стали.

В 1868 г. в Русском техническом обществе он сделал знаменитый доклад, приведя результаты изучения микро- и макроструктуры образцов из дул стальных орудий. Подвергая ковке сталь, нагретую до различных температур, Чернов устанавливает связь между температуройковки, микроструктурой стали и ее механическими свойствами. Он открывает критические температурные точки, переход через которые существенно изменяет строение и свойства стали. Д. К. Чернов, наблюдая изменение цвета каления стали при ее нагреве и охлаждении, определил температуру нагрева стали «на глаз» и открыл критические точки (точки Чернова), которые обозначил символами a , b , c , x . Таким образом, Чернов открыл внутренние структурные превращения в стали и связал с ними тепловой режимковки и технологию термообработки, заложив научные основы термической обработки.

Вот как Д. К. Чернов характеризует эти замечательные точки: «Сталь, как бы тверда она ни была, будучи нагрета ниже точки a , не принимает закалки, как бы быстро ее ни охлаждали, напротив того, она становится значительно мягче и легче обрабатывается пилою». Таким образом, критическая точка a характеризует минимальную температуру, от которой сталь начинает принимать закалку. И, напротив, «сталь, будучи нагрета ниже точки b , не изменяет своей структуры – медленно или быстро после того она охлаждается. Как только температура возвысится до точки b , масса стали быстро переходит из зернистого (или, вообще говоря, кристаллического) в аморфное (воскообразное) состояние». «Аморфная» – это мелкозернистая структура стали, которая надежно обеспечивает ей высокие свойства.

По современным представлениям, точкой a Чернова является точка A_1 ; точкой b является точка A_3 ; точка x – начало плавления; точка c – конец плавления стали. В результате коллективного труда многих исследователей, развивших идеи Д. К. Чернова, была создана точная диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.

В дальнейшем Д. К. Чернов графически изобразил влияние углерода на положение критических точек, воспроизведя при этом очертания важнейших линий диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов (рис. 4.3). В 1886 г. выдающийся последователь Д. К. Чернова французский инженер Ф. Осмонд применил термодару Ле Шателье для определения критических точек стали при термическом анализе. Работы Осмонда, подтвердившего и развившего выводы Чернова, привлекли внимание к проблеме структурных превращений в металлах и послужили дополнительным толчком для широких экспериментальных исследований в этой области.

Английский ученый У. Робертс-Остен (1843–1902) показал, что углерод способен растворяться в твердом железе. В честь его твердый раствор углерода в γ -железе назвали аустенитом. С понижением температуры растворимость углерода в аустените и феррите падает, и избыточный углерод выделяется из раствора в виде цементита. В связи с этим Д. К. Чернов указывал, что критические точки превращения аустенита в феррит при охлаждении стали и феррита в аустенит при ее нагревании зависят от содержания в стали углерода. Этим самым он впервые дал представление о диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов. В дальнейшем благодаря работам Ле Шателье, А. А. Байкова (1870–1946), Н. Т. Гудцова (1885–1957) и других ученых эта диаграмма была построена. Открытие критических точек превращения стали сделало возможным научно объяснить процессы, происходящие в стали при ее закалке и отпуске. Открытие Д. К. Черновым в 1868 г. критических точек превращения стали есть не что иное, как открытие полиморфизма железа.

Следующей работой Д. К. Чернова, внесшей большой вклад в металловедение, является работа по изучению процессов кристаллизации стального слитка. В 1878 г. Д. К. Чернов описал характер затвердевания (кристаллизации) стали и показал особенности перехода ее из жидкого в твердое состояние. Он разработал схему образования кристаллов в жидком металле, исходя из того, что они состоят из дендритов – древовидных

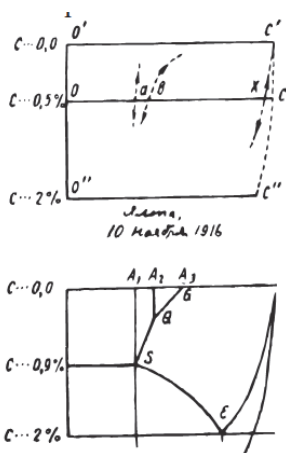


Рис. 4.3. Схематическое изображение Д. К. Черновым диаграммы «железо – углерод»



Рис. 4.4. Кристалл Д. К. Чернова

образований. Чернов собрал большую коллекцию кристаллов, которые были извлечены из стальных слитков. Некоторые из них достигали размеров 3–5 мм.

Однажды полковник А. Г. Берсенов, служивший приемщиком на металлургическом заводе, нашел в грудe стального лома на шихтовом дворе огромный кристалл. В собрании Чернова это был самый крупный дендрит – он весил почти 3,5 кг и имел длину около 40 см. Вскоре он стал широко известен как «кристалл Чернова» (рис. 4.4).

Величину дендритов Д. К. Чернов связывал с условиями охлаждения стали: «Если расплавленную в тигле сталь вы будете при охлаждении приводить постоянно в сильное сотрясение, достаточное для того, чтобы все частицы ее приходили в движение, тогда слиток будет иметь чрезвычайно мелкие кристаллы, – писал Чернов, – если же эту сталь оставить без всякого сотрясения и дать массе спокойно и медленно охлаждаться, тогда у вас эта же сталь получится в крупных, хорошо развитых кристаллах».

Работы Д. К. Чернова и его учеников Н. Т. Беляева (1878–1955) и Н. И. Беляева (1877–1920) по кристаллизации стали и дендритной ликвации примесей заложили основу современной теории кристаллизации и показали ее роль в обеспечении качества стали.

4.5. Совершенствование обработки металлов давлением в период машинно-фабричного производства

Развитие техники прокатного производства. Прокатка в XIX в. становится важнейшим процессом обработки металлов давлением, оттеснившим по масштабам вырабатываемой продукции кузнечную обработку металлов. Создание нового и совершенствование существующего прокатного оборудования привлекает внимание ученых и инженеров. В первой половине XIX в. в Англии, Германии и Франции появляются машиностроительные фирмы, специализирующиеся на изготовлении металлургического, в том числе прокатного оборудования, потребность в котором непрерывно возрастает. Именно в это время реализуются многочисленные изобретения и технические идеи, коснувшиеся широ-

кого спектра проблем, связанных с разработкой новых способов прокатки и созданием конструкций прокатных станов. Среди них немало опередивших свое время изобретений, предложенных в XVIII в., но не воплощенных тогда на практике.

На протяжении рассматриваемого периода непрерывно расширялся сортамент продукции прокатных производств. Огромных масштабов достиг выпуск катаных железных рельсов, различных видов профилей, полосового и листового металла, труб и проволоки. Прокатное производство превратилось в крупного потребителя железа, стали и цветных металлов. Расширяется парк основного прокатного оборудования.

На рубеже XVIII–XIX вв. основным прокатным оборудованием являлся одноклетевой прокатный стан дуо (с двумя валками), применяемый для прокатки листов, полос, прутков и проволоки из железа и некоторых цветных металлов (рис. 4.5, *a*). В первой половине XIX в. распространение получают станы трио с тремя валками (рис. 4.5, *б*), которые позволяли повысить производительность за счет отсутствия необходимости переносить заготовку каждый раз через клеть для продолжения обработки.

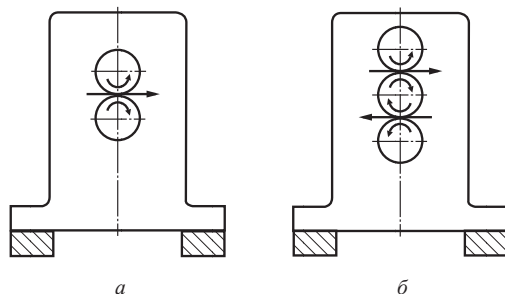


Рис. 4.5. Прокатные клетки: *a* – дуо (с двумя валками); *б* – трио (с тремя валками)

Двухвалковые прокатные станы по типу ранее применявшихся для обработки кричного железа в конце 20-х гг. XIX в. стали также использоваться для прокатки рельсов, спрос на которые быстро возрастал в связи с бурным развитием железнодорожного транспорта. В 1828 г. английский металлург Д. Беркиншау построил профилированные валки для прокатки рельсов, после чего началось их производство в Англии на заводе в Бедлингтоне (рис. 4.6). Первая партия рельсов прокатывалась длиной 12–15 футов (3,6–4,5 м). Вскоре длину рельсов удалось увели-

чить до 21–24 футов (6,3–7,2 м). После этого в течение нескольких последующих лет длина железнодорожных рельсов оставалась прежней в связи с большими затруднениями, связанными с получением крупных заготовок из сварочного железа.

Заготовкой служили «пакеты». Средняя часть пакета собиралась из «сырого железа», а часть пакета, образующая «поверхность катания», – из твердого мелкозернистого железа. Для подошвы пакета шло «волокнутое катаное железо». Для изготовления рельса длиной 6 м применяли пакет с размерами 240×100×1100 мм весом около 260 кг. Один погонный метр таких рельсов весил 34 кг. Прокатку рельса производили в 5–8 проходов через обжимные и «сварочные» ручьи и затем пропускали его 6–8 раз через ручьи чистового стана (рис. 4.6). Диаметр валков колебался от 450 до 500 мм.

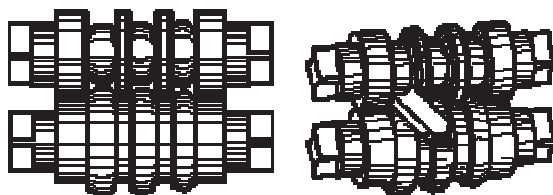


Рис. 4.6. Профилированные валки для прокатки рельсов

В России рельсопрокатное производство стало развиваться с 40-х гг. XIX в. в связи с началом постройки Николаевской железной дороги, соединившей Петербург и Москву. Первые рельсы были прокатаны в 1843 г. на Выксунских заводах около г. Муром. Валовое их производство началось в 1845 г. на заводе Гута-Банкова в г. Домброве (ныне Польша). Затем производство рельсов началось на Нижнетагильском заводе Демидова. Профильное железо прокатывалось на Воткинском заводе, который в 1857 г. выполнил ответственный заказ на изготовление углового катаного железа для колокольни Петропавловского собора в Петербурге. Прокатку рельсов поставил у себя также Путиловский завод, но в 1866 г. производство было прекращено и возобновилось в начале 70-х гг. после получения крупного правительственного заказа. С 1869 г. производство рельсов создается на юге России, а с 1874-го рельсы начинает изготавливать Брянский рельсопрокатный завод и ряд других отечественных предприятий.

Характеризуя развитие техники прокатки, необходимо отметить, что вплоть до 30–40-х гг. XIX в. для привода прокатных станов наряду

с паровым двигателем еще широко применялось гидравлическое колесо. Так, на Верх-Исетском заводе (Урал) в 1800 г. работали вододействующие листопркатные станы, оборудованные клетями дуо с водяным охлаждением валков. Каждый валок приводился во вращение от самостоятельного гидравлического двигателя. Водяные колеса располагались по обе стороны рабочей клетки. Станы с самостоятельным гидравлическим приводом каждого валка, появившиеся на западноевропейских заводах еще в первой трети XVIII в., весьма широко применялись в первой половине XIX в. на многих металлургических заводах.

Однако наиболее прогрессивным был привод, в котором передача энергии от двигателя к прокатным валкам передавалась с помощью зубчатой передачи. С появлением парового привода, повысившего мощность прокатного стана, шестеренная клеть становится, как правило, обязательной его принадлежностью. Несмотря на некоторые потери энергии на трение, зубчатая передача, имеющая сравнительно небольшие габариты и высокий КПД, характеризующаяся долговечностью и надежностью, внесла в конструкцию прокатного стана компактность, возможность рационального конструирования новых типов и размеров прокатного оборудования.

На рубеже XVIII–XIX вв. быстро развиваются так называемые линейные прокатные станы, состоящие обычно из двух (иногда трех) расположенных рядом рабочих клетей дуо. Верхние валки первой и второй рабочих клетей жестко соединялись друг с другом и, кроме того, с верхним зубчатым колесом шестеренной клетки с помощью шпинделей, снабженных муфтами. Таким же образом нижние валки соединялись с нижним зубчатым колесом шестеренной клетки, вал которого был связан с двигателем.

Линейные станы впервые начали применяться для прокатки криц в 1787 г. на заводе в Уэльсе (Англия) металлургами Корком и Пауэлем. Крица пропусклась через первый ручей, затем передавалась поверх стана на противоположную сторону клетки и пропусклась во второй ручей. Аналогичным образом металл пропускали и через остальные ручьи прокатного стана, вплоть до отделочного. Каждый раз при задаче прокатываемой заготовки в валки ее кантовали на 90°. Число пропусков в ручьях зависело от того, какого размера хотели получить изделие. Нередко металл пропускали через первый и второй ручьи, по два и даже по три раза.

На каждом валке нарезалось от 7 до 12 ручьев. Для облегчения удаления в процессе прокатки жидких шлаков между поверхностями валков предусматривался некоторый зазор. С этой же целью ручьям

придавалась закругленная форма. В описанной системе одна прокатная клеть, оснащенная квадратными ручьями, была обжимной, а вторая, с прямоугольными ручьями, являлась чистой. Прокатанные полосы пудлингового железа разрезали ножницами, сортировали в пакеты и сваривали в заготовки для последующей прокатки их в сортовое железо и другие изделия.

На рис. 4.7 показано устройство проволочно-прокатного стана линейного типа, изображенного в 1828 г. Карстенем. В стане наряду с двумя клетями дуо установлена еще клеть трио, придавшая агрегату компактность и значительно ускорившая процесс прокатки. Клеть трио позволила прокатывать заготовку в двух направлениях. Валки 6 клетки трио снабжены 12 ручьями, из которых первый имеет овальную, остальные квадратную форму с постепенно уменьшающимися размерами. Длина валков клетки трио – 18 дюймов (457,2 мм), диаметр – 8 дюймов (203,2 мм). Валки 7 длиной 8 и диаметром 8 дюймов располагают двумя ручьями овальной формы, из которых один резервный. Размеры валков чистой клетки 8 соответствуют валкам предыдущей клетки дуо, но снабжены двумя ручьями круглой формы, один из которых запасной.

Этот трехклетевой проволочно-прокатный стан приводился в действие паровым двигателем через шестеренную передачу. Шестерня 2, соединенная непосредственно с приводным валом паровой машины 1, находится в зацеплении с шестерней 3, которая, в свою очередь, сопряжена с шестерней 4. Каждая из них с помощью специальных муфт 5 соединена с соответствующим прокатным валком клетки трио 6. Прокатные валки первой клетки дуо 7 таким же образом связаны с верхним и средним прокатными валками клетки трио 6. Верхний валок чистой клетки дуо 8 получает вращение от нижнего валка предыдущей клетки дуо 7, а нижний – непосредственно от нижнего валка клетки трио 6 через соединительный вал 9.

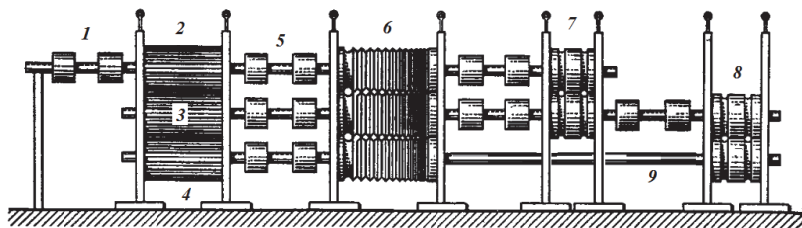


Рис. 4.7. Проволочно-прокатный стан линейного типа, 1828 г.

В процессе прокатки железная заготовка сначала поступает в клеть трио, проходя через овальный калибр и затем последовательно через 8 или 9 квадратных калибров поочередно в верхнем и нижнем ряду. Потом заготовка направляется в клеть дуо с овальными ручьями и по выходе из нее – в чистовую клеть. Готовая проволока, выходя из чистовой клетки, наматывается на приемный барабан. В процессе прокатки она пробегает в валках 2 или 3 отверстия одновременно. При заготовке длиной 610 мм и диаметром около 30 мм, пропущенной через все ручьи прокатного стана, получалась проволока диаметром 11 мм и длиной 11 м. Для прокатки такой заготовки требовалось 36–40 с. Этого было достаточно, чтобы нагретый в печи металл в процессе движения от первого до последнего калибра находился в горячем состоянии. Скорость валков колебалась от 225 до 250 об/мин.

Основной недостаток станов с линейным расположением рабочих клеток (рис. 4.8, *а*) – большие потери времени при передаче металла от одной клетки в другую, а также невозможность производить прокатку с различными скоростями по мере увеличения длины изделия. Этот недостаток удалось устранить отделением обжимной клетки от чистовой. Она была поставлена отдельно перед чистовой линией, состоящей из нескольких клеток, прокатные валки которых вращались с повышенной скоростью, обеспечивающей большую производительность стана.

Особенность линейного стана состоит в том, что прокатные валки обеих клеток вращаются с одинаковой скоростью. В связи с широким распространением станов этой системы в Англии она получила название английской, в отличие от французской, в которой клетки располагались в две линии (сдвоенная система расположения клеток) (рис. 4.8, *б*).

В процессе дальнейшего развития техники прокатного производства на основе французской системы была создана так называемая ступенчатая система, отличающаяся наличием в стане нескольких линий (рис. 4.8, *в*). Иногда прокатные станы этой системы называли «немецкими». Они обеспечивали еще более высокую производительность за счет повышения скорости прокатки на каждой ступени. Ступенчатая система вскоре стала наиболее эффективной в технологии прокатки.

По мере увеличения размера и массы заготовок сварочного железа, а затем и в связи с появлением еще более крупных слитков литой стали перед металлургами и учеными встали новые проблемы, связанные, в частности, с созданием более мощных, совершенных и разнообразных по конструкции прокатных станов. К числу крупнейших достижений

в области техники прокатки металлов необходимо отнести создание и широкое распространение в производстве станов трио, реверсивных станов дуо и разработку конструкций так называемых универсальных станов, характеризующихся наличием в конструкции горизонтальных и вертикальных валков.

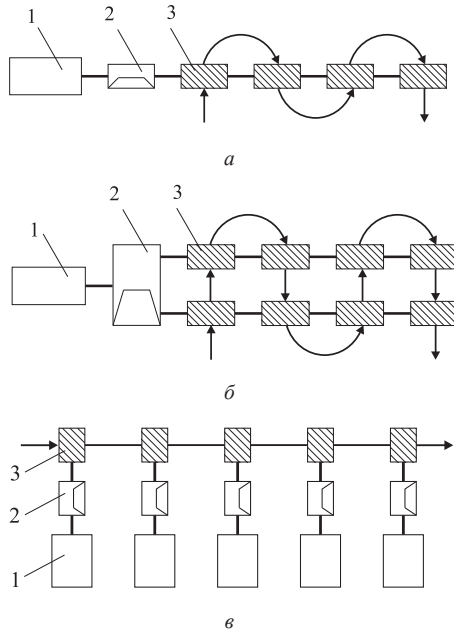


Рис. 4.8. Схемы расположения рабочих клеток: а – английского (линейного) стана; б – французского стана; в – немецкого (ступенчатого) стана; 1 – двигатель; 2 – шестеренная клеть; 3 – рабочая клеть

Паровые молоты. По мере роста потребления металлов, непрерывно увеличивающихся запросов машиностроения в крупных поковках и деталях перед металлургией все настоятельнее ставилась задача создания более мощного и эффективного оборудования для обработки металлов давлением.

К концу XVIII в.ковка оставалась главным металлообрабатывающим процессом металлургической технологии, и проблема совершенствования молотов, создания новых способов обработки металлов постоянно находилась в поле зрения металлургов и изобретателей.

Применявшиеся в мануфактурный период рычажные молоты с гидравлическим приводом ввиду их недостаточной мощности, производительности и некоторых других технико-экономических показателей уже не могли удовлетворить возросшим требованиям металлургического производства.

Усилия конструкторов и машиностроителей сконцентрировались на проблеме создания ковочного молота, приводимого в действие энергией пара. Одним из первых, кто сделал попытку решить эту проблему, был изобретатель универсальной паровой машины Дж. Уатт. В 1784 г. он сразу после получения патента на паровую машину запатентовал и паровой молот. Однако кинематическая часть молота, основанная на конструкциях прежних времен, была уже устаревшей, сводя на нет большие возможности парового двигателя. Практического распространения паровой молот Уатта не получил.

Широкую дорогу паровому молоту открыл английский инженер Джеймс Несмит (1808–1890), разработавший в 1839 г. конструкцию молота, распространившегося с 40-х гг. XIX в. в металлургической и машиностроительных отраслях промышленности. Отличаясь простотой устройства, большой эффективностью, молот Несмита быстро революционизировал обработку металлов и заложил прочные основы для дальнейшего прогресса паровых кузнечных машин на многие десятилетия вперед.

Паровой молот Несмита сразу же показал свои неоспоримые преимущества перед распространенными в конце XVIII – начале XIX в. механическими рычажными молотами. Паровые молоты были во много раз мощнее и гораздо компактнее рычажных, позволяли обрабатывать крупные поковки металла благодаря большой высоте подъема бабы с бойком.

Именно эти важнейшие для любой развитой ковочной машины качества отсутствовали у механических рычажных молотов. Небольшой подъем бойка у рычажных молотов обуславливался присущей для них системой зацепления рычага (молотовища) с кулаками ведущего вала. Поэтому с увеличением размера поковки соответственно уменьшалась и сила удара ввиду сокращения расстояния от бойка до обрабатываемого металла. Поступательно движущиеся части молота не успевали накопить необходимую кинетическую энергию, что приводило к необходимости подвергать поковку многочисленным обжатиям, в процессе которых она остывала, не успевая получить необходимые конечные размеры и форму. Поковку вновь подвергали нагреву и дальнейшей обра-

ботке под рычажным молотом, что вело к непроизводительным потерям времени в технологическом цикле и увеличению угара металла при дополнительных нагревах поковки в пламенной печи.

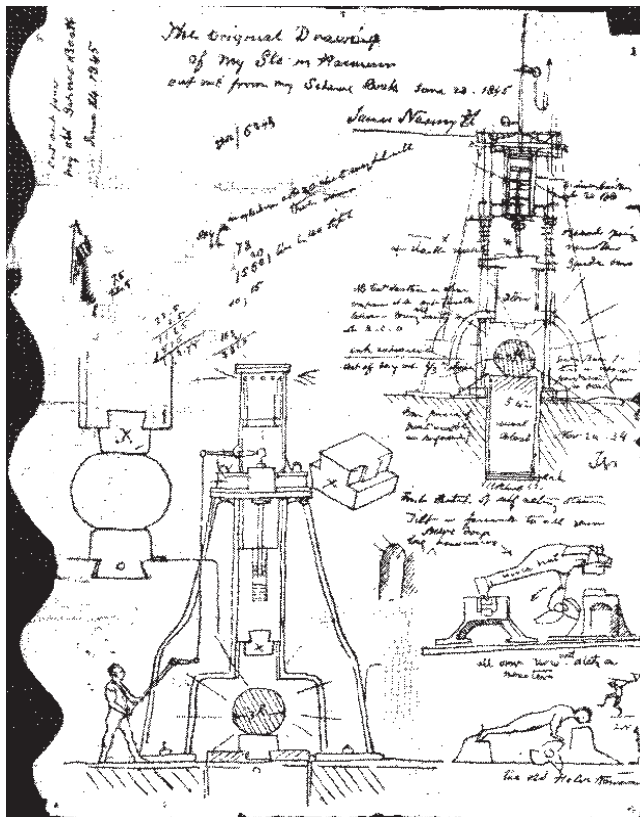


Рис. 4.9. Набросок парового молота Дж. Несмита, 1839 г.

На рис. 4.9 изображен оригинальный набросок парового молота, выполненный Дж. Несмитом в 1839 г. Он представлял собой массивную металлическую станину, в верхней части которой располагался рабочий паровой цилиндр. В цилиндре находился поршень, к которому крепился шток, соединенный с массивной баббой с верхним бойком, двигавшимся по направляющим в вертикальной плоскости. Сама станина устанавливалась на железной плите и крепилась к фундаменту болтами. Нижний

бойк монтировался на массивном шаботе, гасящем возникающие в процессе работы вибрации. Управление молотом осуществлялось вручную. Для приведения его в действие рабочий, находящийся около молота, с помощью специального устройства открывал кран паропровода, соединенного с нижней частью парового цилиндра. В результате подачи пара поршень совершал движение вверх, поднимая одновременно шток и бабу с верхним бойком. Для совершения рабочего хода открывалась задвижка для выпуска пара из цилиндра, после чего начиналось падение бабы. Сила удара определялась суммарной массой падающих частей (поршня, штока, бабы с бойком) и высотой их падения.

Проект Несмита не был сразу воплощен им на практике. Для сооружения молота нужны были средства. К тому же в это время был застой в английской железодельной промышленности, и заводчики, которых Несмит ознакомил со своим изобретением, одобряя проект, вместе с тем не проявляли желания строить молот. Эти обстоятельства, а также отсутствие в то время у изобретателя свободных капиталов не позволили ему выкупить патент, за который полагалось уплатить около 500 фунтов стерлингов. Когда Несмит начинал в 1834 г. собственное дело в Манчестере, его капитал составлял всего 63 фунта стерлингов и 500 фунтов стерлингов, взятых в кредит у местных банкиров.

Впервые молот системы Несмита был построен в 1840 г. во Франции механиком Бурдоном на заводах акционерного общества «Шнейдер и К^о» в Крезе. Интересно отметить, что сам Несмит увидел свой молот там совершенно случайно во время посещения этого предприятия в 1840 г. Сопровождавший Несмита механик Бурдон показал ему большую кованую паровую деталь, удивившую гостя своими размерами. Бурдон сказал, что отковать такую деталь удалось благодаря паровому молоту, конструкция которого была заимствована на его, Несмита, заводе в Патрикрофте. При посещении завода Бурдон, по его словам, получил возможность ознакомиться с «Книгой проектов», в которой находились чертежи всех изобретений Несмита. Бурдон обратил внимание на чертеж парового молота, зарисовал его и по приезде во Францию быстро построил. История создания парового молота получила освещение в книге Джеймса Несмита «Автобиография», вышедшей в Лондоне в 1883 г.

Первые паровые молоты были простого действия и имели открытый сверху паровой цилиндр, ручной парораспределительный механизм. Появившийся паровой молот стал объектом оживленного интереса и деятельности металлургов и конструкторов, направивших усилия на совершенствование основных его узлов и увеличение силы удара.

Важнейшее значение имели разработки самого Несмита, внесшего в конструкцию молота целый ряд нововведений, значительно повысивших его эффективность. К их числу относится изобретение воздушной подушки, предусмотренной в верхней части цилиндра, она предназначалась для предохранения верхней крышки парового цилиндра от разрушения при случайном ударе о нее поршня. Для этого в верхней части цилиндра над выпускным отверстием и крышкой было предусмотрено некоторое пространство. В процессе движения поршня вверх он, перейдя выпускное отверстие, сжимал воздух, находящийся в верхней части цилиндра, создавая воздушную подушку. Другим положительным эффектом воздушной подушки являлось использование упругих свойств сжатого воздуха, отбрасывающего после рабочего хода поршень вниз и увеличивающего благодаря этому силу удара молота. Кроме того, Несмиту принадлежит изобретение паровой подушки, которая создавалась за счет подачи пара в верхнюю часть цилиндра.

Молот двойного действия (или молот с верхним паром) был предложен тем же Несмитом, а автоматическое парораспределение к нему его современником Вильсоном в 1843 г. Давление пара стало использоваться не только для подъема, но и для ускорения падения бабы. При подаче пара в верхнюю часть цилиндра поршень отбрасывался вниз, увеличивая кинетическую энергию падающих частей молота. По аналогии с паровой машиной золотник (клапан, управляющий подачей пара) приводил в движение струю пара, которая попеременно впусклась в верхнюю и нижнюю полость парового цилиндра, опуская или поднимая бабу.

Прессование металлов на гидравлических прессах. Принципиальная схема гидравлического пресса основана на законах французского философа и ученого Паскаля: давление (т. е. сила, действующая на единицу площади) в любом месте жидкости (или газа), находящейся в покое, одинаково по всем направлениям и одинаково передается по всему объему. Закон Паскаля – самый главный закон гидростатики.

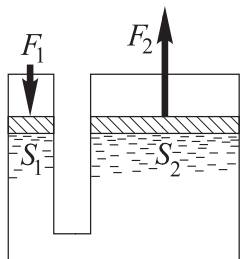


Рис. 4.10. Использование закона Паскаля в гидравлических машинах

Основными частями гидравлической машины являются два соединенных цилиндра с плотно прилегающими к стенкам поршнями (рис. 4.10), под которыми находится рабочая жидкость (обычно минеральное масло). Площади цилиндров существенно различны.

Под действием силы F_1 на поршень в узком цилиндре с площадью S_1 в жидкости под поршнем создается давление. По закону Паскаля такое же давление будет внутри жидкости второго цилиндра. В результате на поршень во втором цилиндре со стороны жидкости действует сила F_2 :

$$F_2 = F_1 \times S_2/S_1.$$

Гидравлическая машина дает выигрыш в силе во столько раз, во сколько площадь ее большого поршня больше площади малого поршня. Принцип действия гидравлического пресса можно сравнить с эффектом рычага, где в качестве передающего усилие объекта используется жидкость, а усилие зависит от величины отношения площадей рабочих поверхностей. Появление гидравлических прессов относится к концу XVIII в.

Джозеф Брама (1748–1814), английский механик и изобретатель, владелец крупного машиностроительного предприятия в предместье Лондона, в 1795 г. взял патент на гидравлический пресс, предназначенный для выполнения разнообразных тяжелых работ (рис. 4.11). Пресс состоял из большого и прочного цилиндра с поршнем внутри. С дном цилиндра сообщался нагнетательный насос – вода перегонялась в цилиндр, постепенно приподнимая поршень. В процессе работы над прессом изобретатель разрешил ряд сложных технических проблем. Одна из них состояла в обеспечении герметичности между поршнем и стенками цилиндра. При действии поршня вода в больших количествах просачивалась через зазор в другую часть цилиндра, не обеспечивая нужного давления. Эту задачу помог разрешить Бrame его сотрудник, будущий известный изобретатель и машиностроитель Генри Модсли (1771–1831). Он предложил уплотнение поршня в виде самоуплотняющегося манжета, без которого гидравлический пресс фактически не мог действовать. Для этого в углублении, на боковой поверхности поршня, вместо прежнего сальника Модсли поставил кольцеобразный вкладыш из крепкой кожи, выпуклый сверху и вогнутый снизу. При заполнении цилиндра водой под высоким давлением края кожного манжета раздвигались, плотно прижимаясь к поверхности цилиндра, и закрывали собой зазор.

Изобретатель парового молота Дж. Несмит отмечал, что уплотнение по системе Модсли также важно «для гидравлического пресса, как давление пара для локомотива. Без этого пресс не мог бы действовать как следует. Если бы Модсли ничего не изобрел, кроме самозадерживающегося клапана, этого одного достаточно, чтобы обессмертить его».

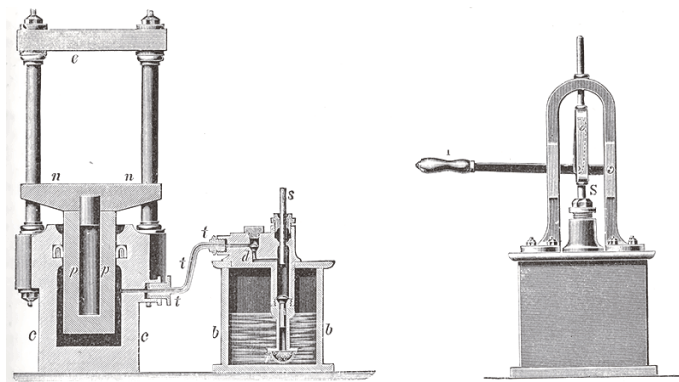


Рис. 4.11. Пресс Джозефа Браммы

Построенный Брамой пресс вначале использовался для перемещения и подъема тяжелых металлических конструкций. В 1797 г. Дж. Брама выдвинул идею применения гидравлического пресса для изготовления свинцовых труб путем выдавливания, или экструдирования, металла через кольцевидное отверстие матрицы.

Однако практическая реализация этого предложения была осуществлена другим инженером – Т. Бурром, построившим в 1820 г. гидравлический пресс для прессования свинцовых труб (рис. 4.12). На конце плунжера находился пресс-штемпель, диаметр которого был немного меньше внутреннего диаметра контейнера. Последнее необходимо для того, чтобы пресс-штемпель мог свободно перемещаться в контейнере. На торце пресс-штемпеля укреплялась стержневидная оправка, или игла, диаметр которой соответствовал внутреннему диаметру прессуемой трубы. Внешний диаметр свинцовой трубы определялся диаметром матрицы. Перед прессованием пресс-штемпель опускался в крайнее нижнее положение, затем в контейнер заливался жидкий свинец. После застывания металла в верхней части контейнера устанавливалась матрица, ввинчивающаяся в специальное гнездо с нарезкой. Процесс прессования начинался с подъемом плунжера и связанного с ним пресс-штемпеля, в результате чего в контейнере создавалось гидростатическое давление, значительно превышающее пластичность металла. В результате из контейнера выпрессовывалась бесшовная свинцовая труба с заданными значениями внешнего и внутреннего диаметров. Разработанный Т. Бурром метод получил впоследствии название метода прямого прессования.

Рис. 4.12. Схема устройства гидравлического пресса Т. Бурра для прессования свинцовых труб, 1820 г.

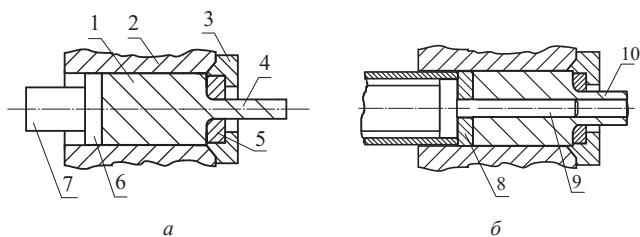
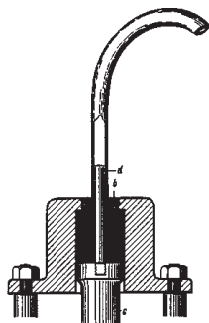


Рис. 4.13. Современные схемы прямого прессования металлов: *а* – прессование прутков; *б* – прессование труб; 1 – заготовка; 2 – контейнер; 3 – матрицедержатель; 4 – готовый пруток (профиль); 5 – инструмент (матрица); 6 – пресс-шайба; 7 – пресс-штемпель; 8 – иглодержатель; 9 – инструмент (игла); 10 – труба

Бурр впервые доказал возможность и перспективность гидравлического пресса для обработки металлов и сплавов. После его работ гидравлический пресс становится объектом повышенного внимания металлургов и технологов, стремившихся использовать возможности нового технического средства в различных производствах.

До 90-х гг. XIX в. метод прессования (экструзии) применяли исключительно для обработки высокопластичных при обычных условиях металлов – свинца, олова и их сплавов. Трубы и прутки были основными полуфабрикатами, изготавливавшимися прессованием на гидравлических прессах (рис. 4.13). С 70-х гг. XIX в. возникает новая область использования экструзионных прессов – электрокабельное производство. В 1879 г. французский инженер Барелл сконструировал гидравлический пресс для наложения свинцовой оболочки на электрический кабель, что позволило начать производство водоустойчивых, в частности подводных (морских и океанских), телеграфных и телефонных кабелей, связавших

страны и континенты. Для наложения оболочки в контейнер заливался расплавленный свинец. После его отвердевания пресс включался. Прессование проводилось при температуре 200–250 °С. Под давлением пресс-штемпеля металл тек по направлению к матрице двумя потоками. В очаге деформации металл сваривался, образуя на изделии сплошную свинцовую оболочку. Разработанный способ наложения защитной оболочки на электрические кабели сохранился в своей основе до настоящего времени.

Развитие процесса прессования высокопластичных металлов – свинца, олова и их сплавов – побуждало специалистов-металлургов к перенесению полученного опыта на прессование труднодеформируемых металлов и их сплавов. Особенно большой спрос был на трубы из меди и ее сплавов для паровой энергетики. Потребовались новые, более мощные гидравлические прессы. Впервые проблему прессования медных труб и прутков осуществила в 1893 г. фирма «Троус Коппер Компани», построившая специальный пресс высокого давления. Для прессования применяли нагретую до температуры 850 °С медную заготовку и помещали ее в вертикальный контейнер гидравлического прессы. Затем сверху в контейнер опускался плунжер, соединенный с гидравлической системой прессы, который прошивал в центре заготовку. При этом металл выпрессовывался вверх, образуя короткий полый цилиндр. Так появился новый, так называемый обратный метод прессования металла (рис. 4.14). Внутренний диаметр отпрессованного цилиндра соответствовал диаметру пуансона, а внешний – внутреннему диаметру контейнера. После выемки из контейнера дно цилиндра отпиливалось. Эта короткая труба обычно служила заготовкой для последующего волочения до заданных размеров.

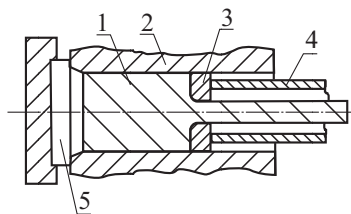


Рис. 4.14. Схема обратного прессования прутков: 1 – заготовка (слиток); 2 – контейнер; 3 – инструмент (матрица); 4 – пресс-штемпель; 5 – заглушка

Дальнейшее развитие техники и технологии прессования медных сплавов связано с деятельностью английского инженера А. Дика, построившего в 1894 г. гидравлический пресс, отличающийся от известных прессов существенной особенностью. В нем контейнер для заготовки с матрицей-держателем был отделен от основной конструкции

гидравлического пресса, являясь самостоятельным его узлом. Это позволило увеличить размеры контейнера, вес прессуемых слитков и мощность самого гидравлического пресса.

Совершенствование волочильного инструмента. Наблюдавшийся в XIX в. подъем в технике волочения неразрывно связан с появлением новых материалов для волочильного инструмента, а также с весьма важными усовершенствованиями в способах его производства.

Так, в рассматриваемый период, наряду с усовершенствованием волочильного инструмента из углеродистой стали, появились волокнистые материалы из легированных сталей, чугуна и твердых минералов – рубина, сапфира и алмаза. Основным потребителем этих волокон были золотоканительные фабрики, предприятия и цехи по производству тонкой проволоки из цветных металлов. Для изготовления изделий крупных сечений, таких как трубы и толстые прутки, употреблялись волокнистые материалы с одним или двумя отверстиями, появление которых совпадает с внедрением цепных станков и волочильных гидравлических прессов.

Лучшим материалом для изготовления волочильных досок для протягивания толстой проволоки считалась высокоуглеродистая сырьевая сталь, известная ранее под названием «дикий» стали. Из нее изготавливались двухслойные доски, техника производства которых была известна и в предыдущий период. Волочильные доски для тонкой проволоки делались сплошными (однослойными), закаливаемыми после проковки. К числу таких волокон относятся, например, венские волочильные доски, экспортировавшиеся Австрией во многие страны, в том числе и в Россию. Габариты волочильных досок колебались в широких пределах: от нескольких десятков миллиметров длиной до полуметра и более.

Волочильные доски из легированных сталей вошли в употребление в 50–60-х гг. XIX в. Вначале для этого использовали вольфрамовую сталь, хотя из-за дороговизны металла ее применение было ограниченным. Еще в 1868 г. волочильные доски из вольфрамовой стали были редкостью и имелись лишь на лучших проволочных заводах. К концу XIX в. наряду с вольфрамовой сталью в практику производства волочильного инструмента вошли марганцовистая и хромистая сталь. Волочильные доски из чугуна (литые волочильные доски) стали распространяться со второй половины XIX в. Начало их промышленного использования положено изобретением в 1860 г. английскими фабрикантами П. Моором-старшим и П. Моором-младшим способа отливки досок из железа и стали в кокиль с готовыми отверстиями заданного диаметра и профиля. По описанию, волочильные доски предназначены для протягивания проволоки и труб.

Способ Мооров применялся главным образом для отливки волоочильных досок с крупными отверстиями. В качестве литейного материала использовали твердые сорта чугуна (белый или зеркальный).

До 70–80-х гг. XIX в. изготовление волоочильных отверстий в стальных досках производилось вручную. Ручное производство волоочильных досок было чрезвычайно трудоемким, требовало большого искусства. Даже при одних и тех же условиях обработки свойства инструмента часто были различны. Появление в первой половине XIX в. волок из твердых минералов является одним из важнейших достижений в технике волочения проволоки. В 1819 г. Брокедон (Англия) взял патент на способ волочения проволоки через волокнистые материалы, изготовленные из твердых минералов – сапфира, рубина и алмаза.

Известия о появившемся в 1819 г. в Англии новом способе волочения тончайшей проволоки через твердые драгоценные камни сразу же привлекли внимание фабрикантов и заводчиков. Уже в 1827 г. золотую, серебряную и позолоченную проволоку волочили через твердые драгоценные камни в Англии и Франции. Эффективность нового способа объясняется высокой твердостью и стойкостью этих минералов на истирание. Просверливая и полируя камни, Брокедон нашел, что твердость и механическая прочность их различна. Более легко просверливались хризоберил, рубин и сапфир, труднее алмаз. По шкале Бринелля твердость алмаза – 10 000, сапфира – 1 900. Для предотвращения разрыва камня при сверлении его вставляли в металлическую оправу.

Через волокно из рубина с диаметром отверстия 0,085 мм Брокедон протянул 1 216 км серебряной позолоченной проволоки, не обнаружив при этом износа канала волокнистого материала. Волочение через стальную волоочильную доску с таким же диаметром отверстия показало, что после протяжки около 3 км проволоки волокно выходило из строя. Самые тонкие отверстия диаметром 0,022 мм удалось просверлить в рубине и сапфире.

Первые удачные эксперименты убедили Брокедона в перспективности использования твердых драгоценных камней для волочения всех применявшихся в проволоочном производстве металлов (медь, железо, сталь, латунь, серебро и т. д.), что он не замедлил оговорить в патенте. Технические основы полирования отверстий в твердых драгоценных камнях, по утверждению автора, заимствованы из обычной практики огранки и полирования камней.

Очень высокая твердость рубинов, сапфиров и особенно алмазов требовала длительной и трудоемкой их обработки сверлением и полированием. Для просверливания отверстий в алмазах, шлифования и по-

лирования волоочильного канала применяли алмазный порошок. Первое время сверление и полирование волок осуществлялось вручную. Сверление одного алмаза занимало около трех недель. В последней трети XIX в. делались попытки механизировать обработку стальных волоочильных досок. В 1867 г. Бекман (Германия) предложил станок для автоматического просверливания камней, что в дальнейшем значительно видоизменило этот процесс. Механические способы сверления и полировки камней привели к широкому распространению в конце XIX в. алмазных волок. Для их изготовления камень разбивали на кусочки нужной величины, сверлили, полировали, затем вставляли в медную оправу и заливали оловом. Полученная таким образом волока (фильера) вставлялась в волокодержатель машины. Диаметры отверстий в алмазных волоках колебались от 0,022–0,04 до 3,0 мм. Алмазные волоки с диаметром отверстия выше 1,0 мм использовались редко из-за высокой стоимости.

Производство алмазных волок было сосредоточено в Милане (Италия) и в Треву (Франция), где функционировали две большие фильерные фабрики, широко экспортировавшие свою продукцию на мировом рынке.

Совершенствование волоочильных станков. До середины XIX в. на проволочных заводах большая часть волоочильного оборудования приводилась в движение энергией падающей воды, хотя к этому времени в ряде отраслей промышленности уже получили значительное распространение паровые двигатели. Групповой привод гидравлического двигателя был использован при создании многобарабанных волоочильных станков, где несколько барабанов располагалось на одном столе и приводилось в движение от общего вала.

Механизм передачи энергии гидравлического колеса к волоочильному барабану состоял из горизонтального вала, вращаемого гидравлическим колесом, и двух цевочных колес (в дальнейшем конических шестерен). Одно колесо насаживалось на горизонтальный вал, а другое – на вертикальный вал волоочильного барабана. В многобарабанных станах на общем горизонтальном валу располагалось несколько шестерен, сцепленных с соответствующими шестернями волоочильных барабанов.

При конструировании барабанных волоочильных станков стремились наиболее экономично сгруппировать максимальное число барабанов на общем столе, что вызывалось необходимостью более рационального использования производственных площадей, а также стремлением упростить передачу и распределение энергии от двигателя к волоочильным барабанам (рис. 4.15). К 30-м гг. XIX в. в производстве

применялись волоочильные станы, на которых устанавливалось до десяти волоочильных барабанов с соответствующим числом устройств для закрепления волоочильных досок и отдаточных приспособлений с протягиваемой проволоочной заготовкой.

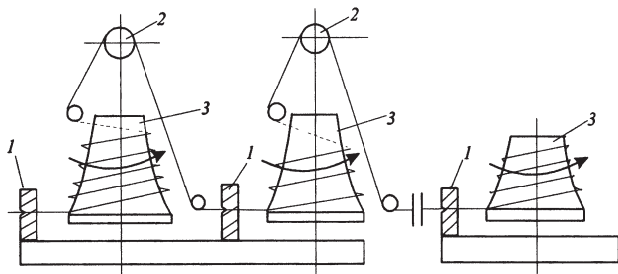


Рис. 4.15. Схема стана барабанного типа: 1 – волоочильная доска; 2 – натягивающее устройство; 3 – барабан

Эксплуатация многобарабанных станов в первых десятилетиях XIX в. показала, что с увеличением числа барабанов затрудняется их конструирование, так как многие элементы станов, за исключением передаточных механизмов и некоторых других деталей, выполнялись из дерева. Большие нагрузки, передаваемые при волочении на деревянные узлы и части машин, заставляли конструкторов упрочнять их за счет увеличения их веса и габаритов. Так, с 20-х гг. XIX в. на западноевропейских заводах появляются волоочильные станы, изготовленные из металла. Однако до конца XIX в. для этих целей еще широко применялось и дерево.

В первой половине XIX в. намечилось разграничение барабанных станов по мощности. Их классифицировали на две основные группы – толстого и тонкого волочения. Во второй половине XIX в. барабанные станы подразделяли на три основные группы – толстого, среднего, тонкого (иногда и тончайшего) волочения. Отличительные признаки одной группы от другой – размеры и конструкция барабанов, передаточного механизма, скорости волочения (по мере уменьшения диаметра проволоки скорости увеличивали). Однако следует отметить, что совершенствование всех станов сводилось к одной цели: создать более совершенный узел барабана и обеспечить плавный пуск стана. Общепринятой формой волоочильного барабана был усеченный конус, обеспечивающий легкий съем мотка проволоки. Барабаны отливались из чугуна, обтачивались и с внешней стороны шлифовались.

Волоочильные барабаны для тонкой проволоки, как и в станах толстого волочения, делали коническими, но имеющими меньший диаметр и более простую конструкцию. К числу технических новшеств, введенных конструкторами и технологами в волоочильные машины в рассматриваемый период, необходимо отнести применение масляной ванны, в которой находилась смазочная жидкость. Появление масляной ванны, обеспечившей интенсивную смазку и охлаждение протягиваемой проволоки, относится к 50–60-м гг. XIX в. (Англия).

Появление в проволочной промышленности полновесной катаной заготовки и расширение сортамента на толстую волоченую проволоку привели к созданию волоочильных станов новых конструкций. Для уменьшения габаритов стана барабаны стали устанавливать горизонтально. Такое же расположение, кроме того, позволяло более удобно и легко снимать с машины тяжелые мотки проволоки, вес которых достигал от 30 до 130 кг.

До второй половины XIX в. волочение тонкой проволоки велось вручную. Основной недостаток ручных способов заключался в низкой производительности. В конце XIX в. высококвалифицированный рабочий мог изготовить в день на волоочильном кругу не более 820 г проволоки диаметром 0,04 мм. С введением машинной обработки выработка возросла до 5,3 кг, т. е. более чем в шесть раз.

Первые машины с намоткой проволоки на катушки имели серьезные недостатки: в процессе волочения приходилось вручную раскладывать проволоку на катушку. Значительным усовершенствованием явилось создание автоматического раскладчика, положившего начало машинному волочению. В этой системе во время работы машины совершает возвратно-поступательное движение вдоль катушки на всю ее длину, в результате чего проволока наматывается на катушку равномерно. Автоматическая раскладка проволоки на катушку получила широкое распространение на проволочных, кабельных заводах и золотоканительных фабриках.

Прокатка железной и стальной проволоки к 30–40-м гг. XIX в. прочно вошла в практику металлургических заводов. Прокатка прутков из цветных металлов и сплавов, например из меди, началась не ранее середины XIX в., поэтому потребность в новых видах продукции – прутках, полосах, трубах больших сечений, не позволяющих сматывать их в бунты, обусловила создание нового типа стана с клещевым захватом и прямолинейным движением протягиваемого металла – цепного волоочильного стана (рис. 4.16).

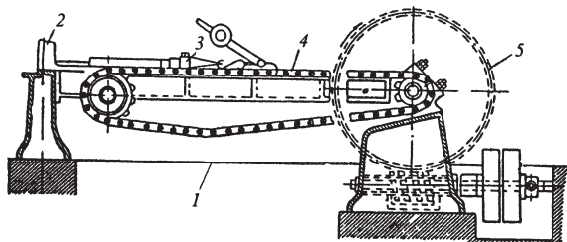


Рис. 4.16. Схема волочильного стана цепного типа: 1 – стан; 2 – волока; 3 – волочильная тележка; 4 – цепь; 5 – привод волочильной тележки

Принцип действия цепного стана основан на движении непрерывной цепи механизма с клещами по горизонтальной или слегка наклонной плоскости. Рабочий ход, во время которого производится волочение, соответствует определенному расстоянию перемещения клещей от волочильной доски. Для осуществления очередного рабочего хода клещи отводятся назад к волочильной доске.

Все первые из известных цепных клещевых станов имели существенный недостаток – возврат каретки после рабочего хода осуществлялся вручную. В 1899 г. Г. А. Мунц и А. И. Эстбэри предложили приспособление для автоматического возврата каретки цепного клещевого стана, предназначенного для волочения труб, прутков, проволоки и полос. Обратное движение каретки осуществлялось при помощи нагруженного каната, наматываемого на специальный валик. После введения в схему цепного волочильного стана приспособления для автоматического возврата каретки его конструкция приняла вполне современный вид. Практическое использование цепных волочильных станов с автоматическим возвратом каретки относится к первому десятилетию XX в.

4.6. Совершенствование технологий соединения материалов в период машинно-фабричного производства

Получение неразъемных соединений методом клепки. Уже в эпоху поздней бронзы человек начинает применять оригинальный способ соединения заготовок – клепку. Подтверждением этому служат множество археологических находок бронзовой посуды, доспехов и предметов быта, найденных по всему миру (рис. 4.17).

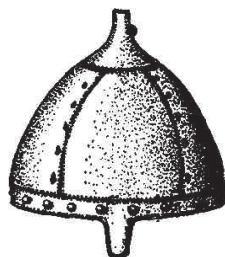


Рис. 4.17. Клепанный шлем VII–VIII вв. н. э. Могильник Релка, Томская область

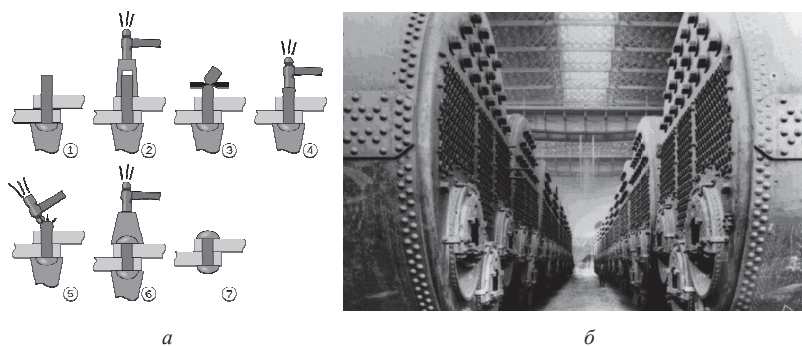


Рис. 4.18. Клепанные соединения, а – технология клепки, б – клепаные топки корабельных паровых котлов, начало XX в.

Суть клепаного соединения заключается в том, что через отверстия в соединяемых деталях продевается специальная заготовка в форме короткого гвоздика, конец которого расплющивается (клепается) так, что шляпка заклепки с одной стороны и расклепанный конец с другой стороны прочно соединяли заготовки (рис. 4.18, а).

Клепка оставалась на протяжении более чем двух тысяч лет одним из самых популярных способов получения неразъемных соединений. В эпоху промышленного переворота клепка применялась в промышленности повсеместно (рис. 4.18, б). О ее состоянии в начале XX в. можно судить по описанию академика и выдающегося кораблестроителя А. Н. Крылова. Он характеризовал процесс клепки судовых корпусов, вернее, не весь процесс, а только часть его. Даже после усовершенствования только подготовка к клепке представляла собой сложную процедуру: сначала необходимо было получить отверстия в соединяемых деталях, соответствующие друг другу по диаметру и месту, что само по себе сложная задача. Эту операцию в XIX в. удалось механизировать

с помощью ручных прессов. А при ремонте механизировать процесс не удавалось, и отверстия сверлили вручную «трещотками». Не было ни пневматических, ни электрических дрелей. Не было термической резки. Просверленные или пробитые отверстия раззенковывали, добиваясь высокой точности размеров и чистоты обработки.

Но это только подготовка к клепке. Дальше необходимо было взять специально выточенную (или отштампованную) стальную заклепку – стержень с головкой, раскалить ее, вставить в отверстия соединяемых деталей (все отверстия должны совпадать). Один рабочий поддерживал заклепку со стороны головки, другой быстрыми ударами (пока заклепка не остыла) бил по специальной форме, которую держал третий рабочий, расклепывая выступающую с обратной стороны часть заклепки. На один метр соединения иногда приходилось по несколько десятков заклепок. После формирования заклепок кромки дополнительно прочеканивали, добиваясь уплотнения.

Конечно, такой процесс был крайне трудоемким, и при возникновении электрических способов сварки клепка быстро стала терять свое значение. Но полностью вытеснить клепку сварке не удалось. До сих пор клепаные соединения встречаются в различных отраслях промышленности, например в авиации.

Газовая сварка. Конец XIX в. и первые десятилетия XX в. не были годами широкого распространения электротехнологии. Время торжества электросварки еще не наступило, потому что электрическая энергия оставалась дефицитной, известные способы сварки не были универсальными и мобильными, а удовлетворительное качество переплавленного металла обеспечивалось ценой высокой трудоемкости. Но без сварки уже нельзя было обойтись, и в начале XX в. появился еще один способ, причем не только соединения металлов, но и быстрого эффективного разъединения, основанный на использовании теплоты химических реакций.

Можно предположить, что попытки использовать горючие газы для сварки металлов плавлением (безковки) делались многократно. Но необходимые для этого температура пламени и концентрация теплоты достигаются только при сжигании горючих газов или паров жидкости в смеси с кислородом. Поэтому газовая сварка вряд ли могла найти применение раньше, чем появилась возможность получать в промышленных масштабах технически чистый кислород.

История обнаружения и получения кислорода составляет особый раздел истории науки и техники. И поскольку для сварки, пайки и резки металлов этот газ имеет большое значение, вспомним некоторые

моменты из истории его познания. Догадки о том, что не весь воздух поддерживает горение, высказывали еще древние ученые Востока. Гениальный Леонардо да Винчи считал, что воздух состоит из двух газов, один из которых участвует в горении. А почти через 300 лет шведский химик, фармацевт, прославившийся открытием многих органических и неорганических веществ, Карл Шееле (1742–1786) в труде «Химический трактат о воздухе и огне» описал получение и свойства «огненного воздуха», т. е. кислорода. Он показал, что атмосферный воздух состоит из двух видов воздуха: «огненного», поддерживающего горение (кислорода), и «флогистированного», не поддерживающего горения (азота). Он же открыл кислород в 1769 г., но труд его был опубликован только в 1777 г. – через три года после того, как английский философ-материалист, химик, бывший священник Джозеф Пристли (1733–1804) сообщил, что свинцовый сурик и окись ртути при нагревании выделяют кислород. Впрочем, название газу, как и правильное объяснение его роли в дыхании и горении, дал в 1775 г. выдающийся французский химик Антуан Лоран Лавуазье (1743–1794).

Еще двумя газами, имевшими важнейшее значение для развития не только сварки, но и резки металлов, явились водород и ацетилен.

Водород был хорошо известен алхимикам Средневековья, но только в 1766 г. выдающийся английский физик и химик Генри Кавендиш (1731–1810) исследовал его физические и химические свойства. Немаловажную роль в развитии сварки сыграли впоследствии и такие исследования Кавендиша, как получение и установление свойств углекислого газа (1766 г.), определение состава воздуха (1781 г.), введение научного понятия теплоемкости и другие.

В 1840 г. немецкий химик Д. Рихман разработал аппарат для получения водорода, выделяющегося при взаимодействии азотной кислоты с цинком. Водородным пламенем, образующимся на выходе из специальной горелки, удавалось паять и сваривать легкоплавкие металлы. В лабораторных условиях многие использовали как водородно-воздушное пламя, так и кислородно-водородное, причем последнее имело температуру 2 600 °С и могло расплавить платину, золото, серебро. Примерно в 1880 г. благодаря электролизу воды эти газы стали намного доступнее. Правда, масштабы их применения до конца XIX в. почти не увеличивались, несмотря на то что уже появились промышленные способы сжатия газов и в 1896 г. немецкий инженер Э. Висе изобрел водородную горелку.

Тем временем в поле зрения техников попадает ацетилен – газ, теплота сгорания которого более чем в 5 раз выше теплоты сгорания водо-

рода, а температура пламени в смеси с кислородом достигает 3 200 °С. Впервые свойства ацетилена описал в 1836 г. английский химик Эдмунд Дэви (1785–1857). А в 1860 г. французский ученый и общественный деятель Пьер Бертло (1827–1907), синтезировавший огромное число органических и неорганических соединений, дал точную формулу и современное имя этому газу. Еще Э. Дэви получил ацетилен из карбида кальция, разлагавшегося в воде. Именно этот способ стал впоследствии одним из основных в сварочной технике. Но в то время карбид кальция был дорогим химическим соединением, получаемым в лабораторных условиях, и потребовалось несколько десятков лет, чтобы найти дешевый промышленный способ его производства.

Велась работа и над газовой сваркой металлов. Вероятно, впервые этот термин употребил француз Д. де Рисимен в сентябре 1840 г. в названии статьи «Описание нового способа сварки свинца, названного газовым, и горелки с использованием воздуха и водорода, называемой воздушно-водородной, предназначенной для этой цели».

Одновременно с поиском газов велась работа и по созданию надежной аппаратуры. В первую очередь необходимо было сконструировать горелку, обеспечивающую хорошее смешение газа и кислорода, высокую концентрацию теплоты на выходе из сопла и взрывобезопасность. Одной из первых заслуживающих внимания конструкций была горелка американского изобретателя Р. Хейра для получения водородно-кислородного пламени. Для предохранения от обратного удара (потока горящего газа внутрь системы) он в 1847 г. сделал диафрагму в водородном канале, через которую газ выдавливался в наконечник горелки и выходил наружу. Водородно-кислородное пламя долгие годы применялось для пайки платины, золота, серебра. В 1850 г. во Франции С. К. Девиль создал горелку, в которой водород и кислород смешивались еще до выхода наружу (подобная схема используется и в современных сварочных горелках, рис. 4.19).

Что касается карбида кальция, то для его промышленного производства было применено электричество. В 1892 г. Дж. Морехед и Т. Вильсон, организаторы фирмы «Вильсон алюминий», выпустили первую промышленную плавку карбида. Одновременно с ними в Европе электроплавку карбида производит Л. Муассан.

В 1894 г. Муассан указал на важность применения в технике ацетилена, как газа, обеспечивающего высокие температуры. А Ле Шателье вычислил, что температура сгорания смеси равных объемов кислорода и ацетилена достигает 4 000 °С. И хотя эта цифра оказалась несколько

завышенной, он понял, что ацетилено-кислородное пламя является интенсивным источником локального нагрева. В 1895 г. в сообщении Парижской академии наук он отметил не только это свойство, но и то, что в пламени расплавленное железо не окисляется. Именно такое пламя было необходимо для сварки (рис. 4.20).

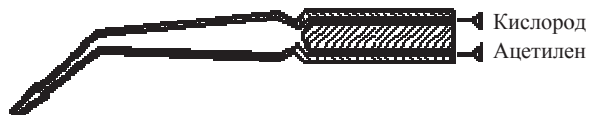
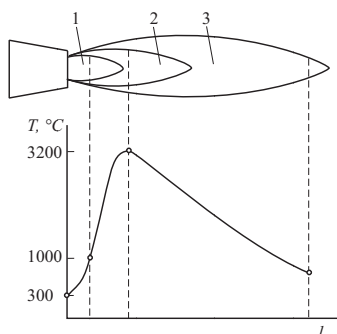


Рис. 4.19. Схема простейшей газовой горелки

Рис. 4.20. Схема строения нормального ацетилено-кислородного пламени и график распределения температуры по его длине: 1 – зона ядра пламени; 2 – средняя (сварочная) зона; 3 – факел пламени



В 1901 г. Э. Фуше впервые использовал в горелках сжатый ацетилен (в ацетоне) и сжатый кислород, в 1902 г. подал в горелку ацетилен прямо из генератора при нормальном давлении, а кислород под избыточным давлением. И спустя два года такие горелки уже использовали не только для сварки, но и для резки, увеличив давление кислорода на выходе из дополнительных каналов.

Теперь для широкого промышленного применения газовой сварки необходимо было только найти способ получения дешевого кислорода. И с этой задачей справился немецкий физик и инженер Карл Линде (1842–1934). В 1895 г. он сконструировал и построил первую в мире промышленную установку для получения жидкого воздуха. Ее действие было основано на эффекте Джоуля – Томсона. Линде начал работать над проблемой разделения на составные части смесей различных технически важных газов и в 1902 г. создал ректификационный аппарат для разделения воздуха на компоненты. Это открыло дорогу широкому при-

менению кислорода в технике. В настоящее время кислород – третий по использованию в промышленности химикат (после серной кислоты и негашеной извести).

Таким образом, к началу XX столетия трудами многих ученых был создан еще один способ соединения металлов. Ацетилено-кислородные сварка и резка не нуждались в электрической энергии. Правда, для получения карбида кальция и кислорода требовалось электричество, зато газосварочные установки бы автономны, подвижны, несложны в эксплуатации. Вторым серьезным преимуществом этого способа по сравнению со способами электросварки Бенардоса и Славянова была возможность просто и эффективно улучшить качество металла шва, защитив зону сварки от воздействия воздуха. В целом же электрические способы сварки и газовая сварка были готовы заменить клепку в производстве машин и аппаратов, промышленных конструкций из железа, стали и меди. Они оказались вне конкуренции при ремонте таких изделий и устранении брака литья и механической обработки.

4.7. Совершенствование обработки металлов резанием в период машинно-фабричного производства

Необходимость изготовления все возрастающего количества сложных в технологическом отношении однородных деталей (болты, заклепки, гайки и т. п.) вызвала разработку различных конструкций специальных станков (винтонарезных, гвоздильных и т. п.). Одна из самых успешных конструкций токарно-винторезного станка была предложена Генри Модсли (1771–1831) на рубеже XVIII и XIX вв. Он вместе со своим учеником Джозефом Витвортом (1803–1887) смог ввести стандарты на резьбовые соединения, что, в свою очередь, позволило внедрить концепцию взаимозаменяемости деталей, принципиально важную для развития промышленного машиностроения.

Вскоре после изобретения суппорта, еще в начале XIX в., Модсли открыл свою собственную механическую мастерскую, которая очень скоро превратилась в довольно большой машиностроительный завод. Завод Модсли сыграл выдающуюся роль в деле развития английской машинной техники. Это была школа знаменитых английских механиков. Здесь начинали свою творческую деятельность такие выдающиеся машиностроители, как Витворт, Несмит и др. К 30-м гг. XIX в. англий-

ское машиностроение уже обладало основными рабочими машинами, позволяющими производить механическим способом важнейшие в металлообработке операции.

На заводе Модсли была применена уже машинная система производства в форме соединения трансмиссиями большого числа рабочих машин, приводимых в движение универсальным тепловым двигателем. Завод Модсли в основном изготавливал детали для паровых машин Уатта. Однако на заводе конструировались и рабочие станки для механических мастерских. Генри Модсли выпускал образцовые токарные, а затем и строгальные механические станки. Сам Модсли, несмотря на то что был собственником крупного предприятия, всю жизнь работал наравне со своими рабочими и учениками. Он обладал поразительной способностью находить и воспитывать талантливых машиностроителей. Многие выдающиеся английские механики обязаны Модсли своим техническим образованием.

Кроме суппорта он сделал много изобретений и усовершенствований в самых разнообразных отраслях техники. В 1807 г. Модсли получил патент на различные усовершенствования паровой машины. В начале XIX в. он изобрел дыропробивную машину для производства отверстий в листах котельного железа, сконструировал микрометрический штангенциркуль, названный им «Лордом канцлером», – важнейший прибор его мастерской. Последней работой Модсли был металлический щит, при помощи которого в Лондоне под Темзой был прорыт туннель. Необыкновенно изобретательный, Модсли очень мало хлопотал о получении патентов на свои изобретения. Случалось, что ему грозили судебным процессом люди, укравшие его изобретения и оформившие на них патенты.

Особенностью техники машиностроения 30-х и 40-х гг. XIX в. является повышение точности производства машин. Этот период был целиком связан с работами выдающегося английского станкостроителя Джозефа Витворта, который ввел в машиностроение принципы и методы точной работы.

Витворт изобрел первую измерительную машину, ввел калибры и добился возможности измерять обрабатываемые плоскости до сотых, а позже и до тысячных долей миллиметра. Ему принадлежит идея стандартизации резьбы на винтах, позже нашедшая широчайшее применение в машиностроении.

В результате происшедших технических изменений машиностроение к 70-м гг. XIX в. превратилось в отрасль крупного фабрично-за-

водского производства. По характеру продукции машиностроительные предприятия того времени делились на два основных типа. Часть заводов сосредоточивалась на производстве машин какого-либо одного рода. Это были главным образом предприятия, производившие текстильные машины, паровые машины и котлы, металлообрабатывающие станки, спрос на которые был очень велик. Другие заводы производили машины, предназначенные для самых разнообразных целей. Эти универсальные машиностроительные заводы наряду с текстильными и паровыми машинами выпускали и другое специализированное оборудование, всякого рода точные приборы и т. п.

К 70-м гг. XIX в. заводы английского машиностроения были оснащены мощными и точными станками. Англия в это время по праву называлась «мастерской мира» и занимала первенствующее положение в мировом машиностроении. Но уже к 60-м гг. XIX в. стала развиваться машиностроительная промышленность Соединенных Штатов Америки и Германии. В этих странах, позже вступивших на капиталистический путь развития, со второй половины XIX в. начинает складываться крупная машиностроительная промышленность. Слабее была развита машиностроительная промышленность Франции, Австро-Венгрии, России, Италии и других стран, запоздавших с капиталистическим развитием.

В результате промышленного переворота машиностроение овладело техникой производства машин машинами. Это позволило быстро и в необходимом количестве производить машины для всех отраслей промышленности и транспорта. Таким образом, крупное машинное производство получило соответствующую его природе материально-техническую базу. Растущий спрос на различные машины со стороны транспорта, строительства, военного дела, металлургии, горного дела, энергетики и других отраслей промышленности создал благоприятные предпосылки для развития машиностроения. Высококачественная сталь, поставляемая развивающейся металлургией, обеспечивала машиностроение основным материалом, необходимым для развития техники производства машин. С 70-х гг. XIX в. до начала Первой мировой войны объем продукции машиностроительной промышленности вырос в 5,5 раза. Подавляющая часть машиностроительной промышленности мира была сконцентрирована в США, Германии и Англии. В этих странах производилось около 85 % мировой машиностроительной продукции.

Машиностроение вначале развивалось эмпирически, и работа различных машин не подвергалась изучению. Для дальнейшего развития машиностроения настоятельно требовалось изучение действия машин

и разработка научных основ теории машин и механизмов. Ко второй половине XIX в. разработка общих вопросов машиноведения достигла значительного развития.

Таким образом, к началу XIX в. техника располагала, помимо токарного, сверлильным, долбежным, расточным, строгальным и другими станками. Развитие металлообработки на станках требовало усовершенствования самого режущего инструмента; однако в течение всего этого периода техника могла применять для режущего инструмента в качестве наиболее твердого металла только закаленную углеродистую сталь; при этом скорость резания металла была невелика.

Исследование процессов резания металла становится необходимым для изыскания способов повышения производительности все возрастающего станочного парка. Эта задача решается разными путями. Разрабатываются теории резания металла Кроненберга в Германии, Тейлора в США, профессорами И. А. Тиме и К. А. Зворыкиным в России разрабатываются научные методы резания при удачном сочетании научных гипотез и производственного опыта. В рассматриваемый период в связи с большим масштабом и разнообразием обрабатываемых металлических деталей возникает необходимость их стандартизации, которая выразилась в разработке сортов металлов прокатанного металла – круглого, квадратного, полосового, листового и фасонного; нормальной винтовой нарезки; первых сортов труб, стандартов для фланцевых соединений, простейших цапф, подшипников и муфт.

4.8. Развитие химии и открытие электрической дуги

Основные методы химического анализа. Первые методы определения состава сплавов возникли благодаря развитию химии. Первый успех оказался связанным с актуальной для выявления фальшивомонетчиков задачей – разделением золота и серебра. Начиная примерно с конца XIV в. для этой цели стала широко применяться азотная кислота, в которой серебро растворялось, а золото нет. Таким образом, компонент оказывался выделенным из сплава за счет характерной для него химической реакции.

Этот метод был систематизирован в конце XVIII в. в работах шведского химика Торберна Бергмана (1735–1784). В них предлагалось переводить исследуемое вещество в растворенное состояние, а затем проводить избирательное осаждение разных компонентов с помощью

характерных для них реактивов. В частности, Бергман подробно описал методы определения большинства известных тогда металлов – золота, серебра, платины, ртути, свинца, меди, железа, олова, висмута, никеля, кобальта, цинка, сурьмы и марганца.

За два с половиной века методы «мокрой химии» серьезно усовершенствовались. Они широко применяются сегодня и позволяют не только установить, какие элементы присутствуют в образце (качественный анализ), но и определить концентрацию (относительное количество) каждого из них (количественный анализ). Для этого достаточно взвесить выделенный с помощью реактива осадок и, зная его химическую формулу, найти массу интересующего нас элемента.

У «мокрой химии» имеется существенный недостаток: анализ удобно проводить, когда хотя бы примерно ясно, что надо искать. Это распространенная ситуация, так как часто известно, из каких основных компонентов состоит образец. Ну а если такой информации нет? Попробуйте проделать характерные реакции на все элементы Периодической системы!

К счастью, со времени Бергмана арсенал методов аналитической химии существенно пополнился. Одним из наиболее ценных приобретений стал спектральный анализ. История замечательных открытий часто начинается с пустяка. Но ведь на него еще надо обратить внимание!

Профессор химии Гейдельбергского университета Роберт Бунзен (1811–1899) в 1854 г. изучал горение некоторых веществ. Он заметил, что соли металлов окрашивают пламя в различные цвета. Этот эффект был известен и до Бунзена, однако другие имена в истории не задержались. Эксперименты большой изобретательности не требовали. Бунзен подносил к горелке образцы разных веществ и записывал цвет язычка пламени. Вскоре отчетливо выявилась закономерность: один и тот же металл всегда окрашивал пламя в определенный цвет, независимо от того, в каком виде сжигался. Например, от бария пламя зеленело, а от натрия желтело.

Бунзен прекрасно понял значение своего открытия. Его можно было использовать для определения элементов, присутствовавших в образце. Практический путь реализации проекта был, однако, неясен. Ведь если образец состоит из нескольких компонентов, то цвет у пламени получается сложный: всех нюансов не различишь. Нужна была еще одна идея, чтобы открытие смогло заявить о себе «во весь голос». Ее подал и реализовал знаменитый немецкий физик Густав Кирхгоф (1824–1887), с которым Бунзена связывала многолетняя дружба.

Вспомните, как призма разлагает солнечный свет на спектр. Именно это и предложил использовать Кирхгоф. Вместо самого пламени следовало рассматривать его спектр, где каждому цвету была отведена своя отдельная «территория». Все оттенки пламени оказывались разделенными и наблюдались без малейших усилий. Более того, Кирхгоф из подручных средств самостоятельно сконструировал прибор – спектроскоп, который позволял разложить пламя на составные части и наблюдать их.

Спектр каждого элемента состоял из специфически расположенных линий разного цвета. Например, для натрия самыми характерными были две яркие желтые линии, которые Кирхгоф быстро заметил в свой прибор. Они появлялись всегда, в каком бы виде ни сжигался натрий. Спектры двух различных элементов спутать было невозможно. Поэтому для определения химического состава оставалось только затабулировать длины волн (или по крайней мере цвета и характерное расположение) основных линий спектра всех известных элементов, с которыми впоследствии следовало сравнивать спектр исследуемого образца.

Совместная работа Бунзена и Кирхгофа велась с огромным напряжением и давала ощутимые результаты. Вот как об этом писал в одном из своих писем сам Бунзен: «Сейчас я работаю с Кирхгофом, который едва дает нам время для сна! Кирхгоф сделал удивительное открытие. Мы получили возможность устанавливать химический состав Солнца и звезд с такой же точностью, с какой мы определяем хлориды и сульфаты в лаборатории. С той же степенью точности мы можем идентифицировать отдельные элементы и на Земле. Например, мы смогли обнаружить литий в 20 граммах морской воды! Для идентификации некоторых веществ наш метод значительно более чувствителен, чем любой другой. Если у тебя есть смесь, состоящая из лития, натрия, калия, бария, стронция и кальция, тебе достаточно дать мне только один ее миллиграмм, и я, посмотрев на нее через зрительную трубу моего прибора, совсем не прикасаясь к образцу, смогу сказать, какие элементы в нем присутствуют».

Таковы основные итоги работы, выполненной Р. Бунзеном и Г. Кирхгофом в 1859–1861 гг. И в это же время произошло первое открытие элемента с помощью спектрального анализа. Им оказался новый металл – цезий.

В 1860 г. в лабораторию Бунзена обратились врачи. Они прислали на анализ минеральную воду из знаменитых шварцвальдских источников и просили определить ее состав. В нем, по их мнению, крылись секреты целебности. Бунзен выпарил воду, а то, что осталось, сжег в пламени

горелки. В спектре быстро стали различимы характерные линии натрия, калия, кальция, лития. Но две голубые линии не удавалось приписать ни одному из известных элементов. Значит, открыт новый элемент. Он получил название «цезий», в переводе с латинского – небесно-голубой.

Цезий присутствовал в минеральной воде в очень малых количествах. Впоследствии, чтобы получить несколько граммов нового металла, Бунзену пришлось выпарить 40 тонн (!) воды. И тем не менее задача анализа оказалась «по плечу» новому методу. Таким было начало. А всего за период с 1861 по 1923 г. методом спектрального анализа были открыты 25 новых элементов.

Технически спектральный анализ проводится по-разному, но всегда предусматривается осуществление двух важнейших этапов – возбуждения спектра и его регистрации. В опытах Бунзена спектр возбуждался пламенем горелки. Но существуют и совершенно другие пути – бомбардировка электронами, облучение и т. д. И совсем необязательно регистрировать видимую часть спектра. Допустимо пользоваться любым другим диапазоном длин волн – ультрафиолетовым, инфракрасным и т. д. Лишь бы имелась возможность зафиксировать спектр и сравнить его с табличными данными.

С помощью спектральных методов проводят не только качественный, но и количественный анализ: устанавливают концентрацию разных элементов в образце. Количественный спектральный анализ основан на простой закономерности: чем больше в образце атомов данного элемента, тем интенсивнее проявляются его линии. А интенсивность можно измерить, например, по степени почернения фоточувствительной пластинки. Необходимым условием количественного анализа является знание зависимости интенсивности от концентрации. Ее строят, пользуясь эталонами, т. е. образцами с заранее известной концентрацией анализируемого элемента. Колоссальным преимуществом спектрального анализа является быстрота его проведения. На современных компьютеризованных установках определение состава образца – буквально минутное дело.

Развитие химии и химической технологии. Развитие всех отраслей промышленности после промышленного переворота определило широкую потребность в разного рода химических веществах и продуктах. С этого времени (конец XVIII в.) химические производства начинают чрезвычайно быстро развиваться на основе больших достижений химической науки. Возросшее число производственных задач, поставленных перед химической технологией, требует разрешения ряда тео-

ретических научных проблем в области химии. Этот период характеризуется как крупными научными достижениями в области химии, так и развитием химических производств.

Из всего неисчислимого перечня химических веществ и продуктов следует особо выделить три, которые необходимы для приготовления большого числа других продуктов: серная кислота, сода и хлор. Трудно указать такое химическое производство, которое не было бы связано с применением серной кислоты, соды и хлора. Они применяются раздельно или совместно как главные вспомогательные вещества в производстве соляной и азотной кислот, стекла, едкого натра, минеральных красок, взрывчатых веществ, суперфосфата, фармацевтических препаратов и многих других веществ, для рафинирования нефти, для беличения тканей и т. д. Но применение этих основных веществ могло возникнуть и получить широкое распространение лишь при условии, что они станут продуктами массового производства и благодаря этому дешевыми.

В многочисленных открытиях и изобретениях в области химической технологии и химии почетное место занимают труды русских ученых, приведших к установлению периодического закона, разработке учения о химической структуре соединений, основ физической химии, нахождению способов получения ценных химических продуктов. Открытие периодического закона Дмитрием Ивановичем Менделеевым (1869 г.) явилось одним из величайших научных обобщений, сопоставимым с открытием закона сохранения и превращения энергии. Периодический закон химических элементов стал фундаментом современного учения о веществе, проложил совершенно новые пути для развития химической науки. На основании этого закона были исправлены атомные веса многих элементов и, что особенно важно, предсказано существование еще не открытых новых элементов. Так, в 1871 г. Менделеев предсказал существование и указал основные свойства трех элементов, которые он назвал экаалюминием, экабором и экакремнием. Они вскоре были открыты и внесены в периодическую таблицу элементов на указанные Менделеевым места под именем галлия, скандия и германия.

Д. И. Менделеев произвел также ценные исследования ископаемого топлива и вывел формулу для вычисления теплотворной способности топлива. Им впервые была высказана мысль о подземной газификации каменных углей. Составленное Д. И. Менделеевым классическое руководство «Основы химии» служило учебником для многих тысяч русских студентов-химиков и остается до сих пор настольной книгой для работников науки и практики.



Александр Михайлович
Бутлеров
(1828–1886)

Одним из крупнейших обобщений в химии признана теория химического строения, наиболее полно и последовательно разработанная А. М. Бутлеровым. На основе этой теории впервые было разъяснено явление изомерии и разработана классификация органических соединений.

Согласно этой теории свойства вещества зависят не только от числа атомов, входящих в состав его молекул, но и от характера структуры молекул.

В рассматриваемый период получила развитие физическая химия – новый раздел химии, охватывающий вопросы строения вещества, химическую термодинамику, учение о растворах, электрохимию и др. Большое значение в разработке вопросов физической химии имели труды Н. Н. Бекетова, В. Оствальда и др.

Одним из важных этапов развития науки стало открытие закона сохранения и превращения энергии – основного закона термохимии. Этот закон, установленный академиком Г. И. Гессом в 1840 г., гласит, что тепловой эффект реакции не зависит от пути химического процесса, а зависит только от начального и конечного состояний системы.



Герман Иванович
Гесс
(1802–1850)

В середине XIX в. зарождается анилино-красочная промышленность, основой для создания которой послужило синтезирование анилина (1842 г.) академиком Николаем Николаевичем Зининым

(1812–1880), позволившее получать этот ценный продукт в значительных количествах и более дешевым путем.

Электричество и дуга Петрова. С электрическими явлениями в природе человек познакомился намного раньше, чем с металлами. Страх и уважение вызывала у него гроза – стихийное явление, возникновение которого многие народы приписывали верховному божеству. Например, в греческой мифологии молниями владел сам Зевс. Тем не менее вера в могущество владыки Олимпа не помешала тем же грекам начать изучение электричества.

Впрочем, в VI в. до н. э. мудрец Фалес из Милета еще не видел связи между свойствами натертого шерстью янтаря и атмосферным электричеством. А когда спустя многие столетия такая связь обнаружи-

лась, греческое название янтаря – «электрон» – легло в основу огромного количества терминов, обозначающих и физические явления, и отрасли знания, и технические средства, и многое другое.

С древнейших времен людям были известны и некоторые свойства природных магнитов. Уже за два тысячелетия до нашей эры в Китае пользовались магнитным компасом. Люди, жившие по берегам южных морей, знали о существовании рыб, способных в целях самозащиты создавать электрический разряд. Однако, если не считать высказывания знаменитого римского писателя и исследователя Плиния, писавшего через 600 лет после Фалеса в книге «Естественная история»: «Когда при натирании руками янтарь получает тепло и жизнь, тогда он притягивает кусочки соломы, сухие листья небольшого веса подобно тому, как магнит притягивает железо», – другие ученые древности и Средневековья не видели связи между многими проявлениями электричества. Застой в изучении электрических явлений прервался в 1600 г. выходом в Лондоне книги Уильяма Гильберта «Про магнит, магнитные тела и большой магнит – Землю». Этот ученый, бывший придворным врачом, провел серьезные наблюдения над электрическими и магнитными явлениями и открыл, в частности, магнитную индукцию. Следующим шагом было создание в 1672 г. немецким физиком Отто фон Герике машины, в которой при трении получался заряд статического электричества. Исследованиями атмосферного, а также статического электричества занялись выдающиеся ученые Европы и Америки. Невозможно перечислить все многочисленные открытия и изобретения, которыми началась эта эра в физике. Вот некоторые, на наш взгляд, наиболее существенные.

В 1745 г. нидерландский физик Питер ван Мушенбрук изобрел лейденскую банку – электрический конденсатор, давший возможность накапливать электричество, полученное с помощью электрических машин.

В 1750 г. американский ученый и просветитель Б. Франклин выдвинул свою идею о природе грозового электричества. В 1753 г. английский физик Дж. Кантон сообщил о первом эксперименте по электростатической индукции. М. В. Ломоносов в Петербурге на заседании Академии наук и художеств выступил с речью «Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих», в которой обобщил новейшие экспериментальные данные и развил теорию гроз и северных сияний.

В 1759 г. вышел труд академика Петербургской академии наук и художеств Ф. У. Т. Эпинуса «Опыт теории электричества и магнетизма», в котором была выдвинута идея о связи электрических и магнит-

ных явлений, установлена зависимость силы взаимодействия между зарядами от расстояния.

Необходимо отметить, что интерес к электричеству в России со времен Ломоносова возрастал. И как только стало известно о создании итальянским физиком А. Вольта нового источника, способного давать электрическую энергию в результате химических реакций, русские исследователи сразу же начали работы с электрическим током. Уже в следующем, 1802 г. русский академик А. А. Мусин-Пушкин собрал крупную гальваническую батарею. В начале 1802 г. профессор Петербургской медико-хирургической академии Василий Владимирович Петров (1761–1834) построил самый крупный для того времени источник тока – батарею из 4 200 пар медных и цинковых кружков. Именно ей и было суждено стать исторической: на ней была впервые в мире получена электрическая дуга, которая сейчас лежит в основе многих технологических процессов, в том числе и дуговой сварки.

Спустя некоторое время после смерти Петрова его авторство было забыто. Честь открытия дуги начали приписывать Г. Дэви – крупному английскому физику и химику, президенту Лондонского королевского общества (с 1820 г.), почетному члену Петербургской академии наук (с 1826 г.). Петрова не вспоминали до тех пор, пока электрическая дуга не стала служить человечеству, а один петербургский студент случайно не нашел книгу Петрова, изданную в 1803 г. Мир признал первенство России, и в 1900 г. на Всемирной парижской выставке в числе выдающихся электриков была указана и фамилия русского первооткрывателя (правда, портрет его так и не удалось разыскать). С тех пор имя Петрова открывает статьи и книги по истории дуговой сварки.

С 1795 г. будущий академик Петров с преобразованием училища в медико-хирургическую академию был назначен профессором математики и физики. В 1809 г. его избрали экстраординарным академиком Петербургской академии наук, а в 1815 г. – ординарным академиком.

Петров считал проведение экспериментов неотъемлемым элементом обучения физике. В физическом кабинете, созданном им к началу XIX в., было более 600 приборов и моделей. Подобного кабинета не было во всей Европе. Множество приборов сконструировал он сам.

Собирая самую большую в мире батарею, Петров ощущал удары электрического тока в те моменты, когда его руки касались разных полюсов – различных кружков. Эта реакция живого организма на электричество не была новостью. Ученый собрал электрическую цепь. Медная и серебряная проволоки были изолированными – Петров сам изобрел

изоляционное покрытие из сургуча и некоторых других веществ. Изоляция не пропускала ток, никакого эффекта от касания не наблюдалось. Только когда разных кружков касались не изолированные сургучом концы проволоки, между ними проскакивали искры.

Длинными осенними петербургскими сумерками Петров все чаще задавал себе вопрос: как продлить жизнь искры? Нельзя ли использовать ее для освещения?

И талантливый русский физик свободное от лекций время проводил около своей батареи. Для того чтобы знать, проходит ли ток в проводах, соединяющих разные концы батареи, Петров воспользовался электрометром – прибором, изобретенным еще соратником Ломоносова академиком Георгом Рихманом. Один из участков электрической цепи – часть проволоки – он располагал вертикально, а на эту проволоку привязывал льняную нитку. Чем больше электричества проходило по цепи, тем больше отталкивалась от проволоки нитка, отклоняясь на больший угол. Включая между проволоками различные предметы из серебра, меди, олова, цинка, железа, Василий Владимирович вскоре заметил, что нитка отклоняется на разный угол, даже если число кружков, питающих цепь, было одним и тем же. Было уже испытано много веществ, в том числе и лед, через который только пятьдесят шесть вольтовых кружков смогли «протолкнуть» электричество. Наступила очередь угля, отожженного из древесных палочек.

Поздним вечером 23 ноября 1802 г. Петров приступил к очередному эксперименту. Как обычно, он уложил на стеклянную пластинку испытываемый предмет. Как осторожно Петров ни прикручивал провода к концам угля, хрупкая палочка треснула и разломилась на две части. Стоило ему сжать половинки, как нитка отклонилась. «Древесный уголь пропускает электричество», – успел отметить Петров. Неожиданно угли в месте перелома начали раскаляться, ученый отдернул руки, и вдруг между кусочками угля вспыхнуло ярчайшее маленькое пламя. Ослепительный белый свет осветил всю лабораторию, на стенах возникли резкие тени.

Первое в мире искусственно созданное звездное вещество – плазма – существовало несколько секунд. Лопнула стеклянная пластинка, и угольный стержень упал на стол. Белый свет погас, и лишь тлевшие угли напоминали Петрову о только что случившемся чуде. «Явление надобно сотворить самому» – и Петров, подобрав обгоревший кусочек, сводит обе половинки. Когда концы угольков соприкоснулись, пламя вспыхнуло вновь. В зазоре между стержнями горела электрическая дуга.

В 1803 г. в Петербурге вышла книга Петрова «Известие о гальвани-вольтовых опытах». В главе «О расплавлении и сжигании металлов посредством гальвани-вольтовой жидкости» он писал: «Между ними является больше или меньше яркое пламя, от которого сии металлы иногда мгновенно расплавляются, сгорают также пламенем какого-нибудь цвета». Публично Петров демонстрирует свое открытие членам коллегии и «знаменитым особам», указывая на возможность применения дуги для освещения, нагрева, расплавления металлов и т. п.

Не привлек внимания научного мира и доклад, сделанный в 1808 г. Г. Дэви, который также обнаружил электрическую дугу. Члены Лондонского королевского общества отнеслись к известию несерьезно, как к лабораторному курьезу. Сообщения о всевозможных открытиях приходили в то время чуть ли не ежедневно, и яркий разряд почти потерялся в общем потоке открытий, не найдя сиюминутного применения.

Только в 1815 г., когда английский физик Дж. Чилдрен расплавил и испарил в дуге иридий, оксид церия и ряд других тугоплавких материалов, на высокотемпературный источник теплоты обратили внимание. Исследования продолжил и сам Дэви, который в 1821 г. описал действие магнитного поля на дугу. Следует отметить, что в то время за каких-нибудь два года усилиями нескольких ученых были раскрыты важные взаимосвязи между электричеством и магнетизмом.

В 1820 г. датский физик Х. К. Эрстед открыл магнитное поле, окружающее проводник с током; французский ученый Д. Ф. Араго изобрел электромагнит; французский ученый А. М. Ампер установил, что протекающие по параллельным проводникам токи притягивают или отталкивают друг друга. В 1831 г. английский физик М. Фарадей открыл явление электромагнитной индукции, заложив тем самым основы всей современной электротехники, а другой английский физик, Дж. К. Максвелл, вывел уравнения, характеризующие электромагнитные поля и происходящие в них процессы.

Большой вклад в развитие теоретических основ электротехники внесли и русские ученые – академик Б. С. Якоби, академик Э. Х. Ленц, профессор Д. А. Лачинов и другие.

А от открытия В. В. Петрова до крупнейшего технического применения дугового разряда с целью соединения и разъединения металлов прошло около 80 лет. Открытие Петрова значительно опередило свой век.

Глава 5. ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА ПРОИЗВОДСТВА К НЕПРЕРЫВНЫМ ПРОЦЕССАМ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СИСТЕМАМ (70-е гг. XIX – XX в.)

К 70-м гг. XIX в. металлургия превратилась в крупнейшую и динамично развивающуюся отрасль тяжелой промышленности. На протяжении второй половины XIX в. потребность в металле непрерывно возрастала под влиянием прогресса машиностроения, интенсивного развития железнодорожного транспорта, судостроения, строительной индустрии. Мировая выплавка стали достигла в 1870 г. 7,65 млн т и уже через 20 лет, в 1890 г., увеличилась почти в 3 раза, превысив 20,95 млн т. В последующие годы ее выпуск быстро увеличивался. За период с 1915 по 1929 г. выплавка стали в мире возросла с 80,65 до 121,88 млн т. В настоящее время мировая выплавка стали составляет чуть меньше 1 500 млн т. Бессемеровский, мартеновский и томасовский способы производства литой стали заняли главенствующее положение в черной металлургии в начале XX в. Затем вместо бессемеровского процесса был внедрен кислородно-конверторный переплав, в котором вдуваемый в конвертор воздух был заменен кислородом (рис. 5.1). Это существенно повысило производительность выплавки стали. В последние десятилетия XX столетия мартеновский процесс (как менее экономичный) повсеместно вытеснялся быстро прогрессирующим производством литой стали в кислородных конверторах.

В обработке материалов происходят важнейшие сдвиги, такие как переход к непрерывным технологическим процессам в металлургии, когда в один технологический цикл завязаны плавка чугуна в доменной печи, затем его кислородно-конверторный переплав в сталь с последующей непрерывной разливкой в специальной машине, продукцией которой является заготовительный прокат. Из полученных заготовок тут же на металлургическом предприятии прокатывают широчайший сортмент профилей. Все это позволяет резко повысить производительность процесса и снизить издержки.

Внедряются и другие непрерывные процессы, например безостановочное волочение и т. п.

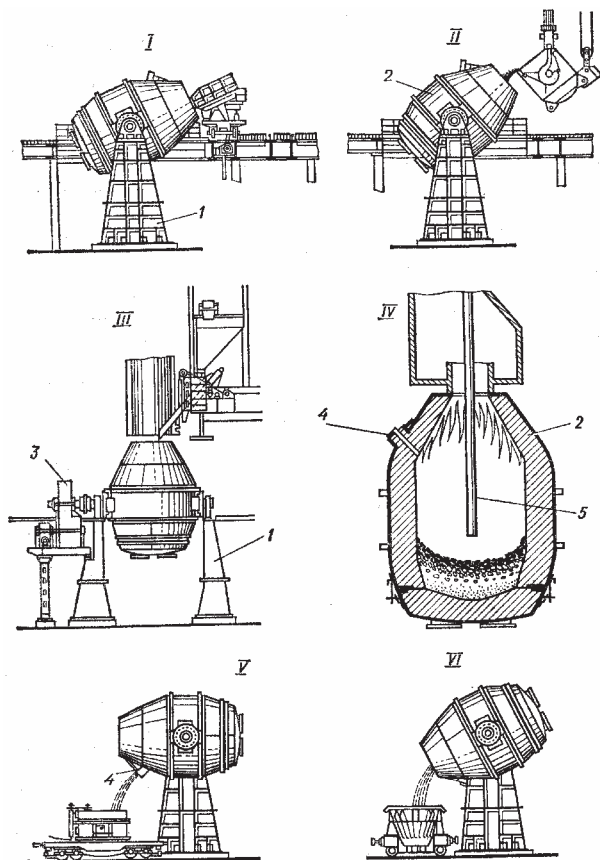


Рис. 5.1. Схема устройства кислородного конвертора и стадии выплавки стали: I – завалка лома; II – заливка чугуна; III – загрузка флюса; IV – продувка конвертора кислородом; V – выпуск стали; VI – слив шлака; 1 – станина; 2 – конвертор; 3 – поворотные цапфы; 4 – отверстия для выпуска стали; 5 – водоохлаждаемая фурма для подачи кислорода

Важное направление в развитии производства литой стали связано с улучшением качества металла. К середине XX в. разработаны и широко применяются в промышленности способы переплава стальных электродов, метод электрошлакового переплава, внепечное рафинирование, обработка металла синтетическими шлаками, продувка аргоном и другими инертными газами, вакуумирование и др.

На развитие техники обработки материалов большое влияние оказал появившийся на рубеже XIX–XX вв. электрический привод, давший мощный импульс развитию машин для обработки металлов. Среди машин существенно преобразованных внедрением электрического привода, необходимо выделить металлорежущие станки и значительную долю кузнечно-штамповочных машин.

Распространение и внедрение в промышленность электричества дало большой толчок для развития различных видов электросварки. Появились электродуговые сталеплавильные печи.

Достижения в области гидравлики и техники высоких давлений способствовали прогрессу гидравлических прессов, ставших с конца XIX в. распространенной и эффективной группой машин.

В литейном производстве начали широко внедряться способы специального литья. Среди них – литье по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, литье под давлением и центробежное литье.

Вторая половина XX в. характеризовалась мощным воздействием научно-технического прогресса на развитие техники и технологии обработки материалов. Одним из революционизирующих факторов стала вычислительная техника, позволившая автоматизировать основные и вспомогательные технологические процессы, оптимизировать режимы работы машин и оборудования, многократно повысить их производительность.

Развитие металлургии и обработки материалов в рассматриваемый период характеризовалось все более усиливающимся воздействием на производство достижений науки. Фундаментальное значение имели выдающиеся работы металлурга Д. К. Чернова, заложившего основы современного металловедения и термической обработки стали. Продолжатели дела Чернова – современные материаловеды и металлурги – достигли невероятных успехов в развитии науки о материалах, способах их исследований и технологий их обработки.

5.1. Применение электричества и совершенствование металлургии в первой половине XX в.

Как уже отмечалось, с конца XIX в. металлургия железа непрерывно увеличивала объемы производства стали и чугуна. Непрерывно развивалось производство качественной стали и специальных сплавов на основе железа, получение которых было начато в последней трети XIX в. Их применение в различных отраслях промышленности подняло

на новый уровень машиностроение, все виды транспортной и энергетической техники, производство металлургического оборудования и технологию металлообработки.

В конце XIX в. началось развитие новых отраслей техники, в которых электрическая энергия участвовала в качестве основного технологического фактора. Этими отраслями техники были электротермия и промышленная электрохимия.

После построения экономичных электрических генераторов началось электролитическое рафинирование меди (первая промышленная установка была создана компанией «Сименс и Гальске» в 1878 г.). Нетрудно понять значение широкого развития промышленного производства рафинированной меди, если представить себе ту потребность, которую испытывает в этом материале кабельная промышленность. Широкий размах в конце XIX в. получило также электрохимическое производство бертолетовой соли, щелочей и хлора.

Особые надежды ученые и инженеры конца XIX – начала XX в. не без основания возлагали на те электрохимические процессы, которые протекали при высоких температурах и которые заложили основы новой отрасли техники – электротермии. Наиболее показательным примером возникновения и развития нового технологического процесса – электрометаллургии – является получение алюминия.

Электричество позволило подняться на более высокий уровень цветной металлургии. В первой половине и середине XX в. в производство вовлечены практически все известные цветные и редкие металлы, получены многочисленные их сплавы и композиционные материалы, широко применяемые в новейших и традиционных областях техники. С легкими цветными и редкими металлами – алюминием, магнием, титаном, бериллием и их сплавами – связаны крупные достижения в области авиационной и ракетно-космической техники. Алюминий и алюминиевые сплавы стали особенно широко применяться в самолетостроении и различных других отраслях техники, в начале текущего столетия – в автомобилестроении.

Вслед за развитием металлургии алюминия начинает развиваться ряд других электротермических производств. В конце XIX в. были открыты карборунд и способ его получения. Тогда же был разработан метод получения карбида кальция, который стал потребляться в больших количествах для выработки ацетилена.

Начало XX в. в области электротермии ознаменовалось быстрым совершенствованием и изобретением новых конструкций электриче-

ских печей для электрометаллургии. В 1900–1901 гг. дали первую сталь дуговые печи прямого и косвенного действия, индукционная печь со стальным сердечником. Возникла новая отрасль металлургии – производство высококачественных сталей.

Так постепенно электрический ток начал получать все большее значение в качестве технологического фактора самого производственного процесса.

Разработка технологии массового производства алюминия.

Первая страница в историю алюминия была вписана в XVI в. Это сделал талантливый немецкий врач и естествоиспытатель Филипп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм (1493–1541), вошедший в историю под псевдонимом Парацельс. Исследуя различные вещества и минералы, в том числе квасцы, ученый установил, что они «есть соль некоторой квасцовой земли», в состав которой входит оксид неизвестного металла, впоследствии названный глиноземом.

Квасцы, заинтересовавшие Парацельса, были известны с давних времен. По свидетельству греческого историка Геродота, жившего в V в. до н. э., древние народы применяли при крашении тканей для закрепления их цвета минеральную породу, которую они называли «алюмен», т. е. «вяжущая». Этой породой и были квасцы.

Примерно к VIII–IX вв. относятся первые упоминания об изготовлении квасцов в Древней Руси, где их также использовали для окраски тканей и приготовления сафьяновых кож. В Средние века в Европе уже действовало несколько заводов для производства квасцов.

В 1754 г. немецкий химик А. С. Маргграф сумел выделить «квасцовую землю», о которой за два столетия до этого писал Парацельс. Прошло еще несколько десятков лет, прежде чем англичанин Гэмфри Дэви (1778–1829) попытался получить металл, скрывающийся в квасцах. В 1807 г. ему удалось электролизом щелочей открыть натрий и калий, но разложить с помощью электрического тока глинозем он так и не сумел. Подобные же попытки предпринял спустя несколько лет швед Йене Якоб Берцелиус, но и его работы не увенчались успехом. Несмотря на это, ученые все же решили дать неподдающемуся металлу имя: сначала Берцелиус назвал его алюмием, а затем Дэви изменил алюминий на алюминий.

Первым, кому удалось получить металлический алюминий, был датский ученый Ганс Христиан Эрстед (1777–1851). В 1825 г. в одном из химических журналов он опубликовал статью, в которой писал, что в результате проведенных им опытов образовался «кусочек металла, цве-

том и блеском несколько похожий на олово». Однако журнал этот был не очень известен, и сообщение Эрстеда осталось почти незамеченным в научном мире. Да и сам ученый, поглощенный работами по электромагнетизму, не придавал своему открытию большого значения.

Спустя два года в Копенгаген к Эрстеду приехал молодой, но уже известный немецкий химик Фридрих Велёр (1800–1882). Эрстед сообщил ему, что не намерен продолжать опыты по получению алюминия. Вернувшись в Германию, Велёр немедленно занялся этой проблемой, весьма заинтересовавшей его, и уже в конце 1827 г. опубликовал свой метод получения нового металла. Правда, метод Велёра позволял выделять алюминий лишь в виде зерен величиной не более булавочной головки, но ученый продолжал эксперименты до тех пор, пока не сумел, наконец, разработать способ получения алюминия в виде компактной массы. На это ему потребовалось целых восемнадцать лет!

К тому времени новый металл уже успел завоевать популярность и, поскольку получали его в мизерных количествах, цены на него превышали цены на золото, да и достать его было делом непростым.

В 1855 г. на Всемирной выставке в Париже экспонировалось «серебро из глины», вызвавшее большую сенсацию. Это были пластины и слитки алюминия, которые сумел получить французский ученый и промышленник Анри Сент-Клер Девиль (1818–1881).

Появлению этих экспонатов предшествовали следующие события. Императором Франции в то время был Наполеон III, племянник великого Наполеона. Большой любитель пустить пыль в глаза, он устроил однажды банкет, на котором члены монаршей семьи и наиболее почетные гости были удостоены чести есть алюминиевыми ложками и вилками. Гостям же попроще пришлось пользоваться обычными (для императорских банкетов, разумеется) золотыми и серебряными приборами. Конечно, было обидно до слез, и кусок не лез в горло, но что поделаешь, если даже император не мог тогда обеспечить каждого гостя алюминием по потребности. Когда же судьба подарила французскому монарху наследного принца, счастливый папаша на радостях заказал придворному ювелиру роскошную погремушку из алюминия, золота и драгоценных камней.

Вскоре в голове Наполеона III созрел дерзновенный проект, который сулил славу и почет, но, главное, должен был заставить государей других стран позеленеть от зависти: император решил снабдить солдат своей армии доспехами из алюминия. Он предоставил Девиллю крупные средства, чтобы тот изыскал способ получения алюминия в больших

количествах. Девиль, положив в основу своих экспериментов метод Велёра, сумел разработать соответствующую технологию, но металл, полученный им, продолжал оставаться весьма дорогим. Именно поэтому французским солдатам так и не довелось примерить обещанные доспехи, но о своей личной охране император позаботился: его телохранители начали щеголять в новеньких алюминиевых кирасах (латах). Получение Девилем чистого алюминия бонапартистские круги Франции пытались использовать для раздувания националистического угара: они повсюду трубили о якобы французском приоритете в открытии этого металла. К чести Девилья, он отреагировал на эти «приписки» как подобает настоящему ученому, и к тому же весьма оригинально: из алюминия собственного производства он отчеканил медаль с портретом Фридриха Велёра и датой «1827» и послал ее в подарок немецкому ученому.

К этому периоду и относится появление «серебра Девилья» в качестве экспоната на Всемирной выставке. Быть может, ее устроители и отнесли алюминий к металлам широкого потребления, но, увы, от этого он не стал доступнее. Правда, уже тогда передовые люди понимали, что пуговицы и кирасы – лишь незначительный эпизод в деятельности алюминия. Впервые увидев алюминиевые изделия, известный русский философ и писатель Н. Г. Чернышевский с восторгом сказал: «Этому металлу суждено великое будущее! Перед вами, друзья, металл социализма». В его романе «Что делать?», вышедшем в 1863 г., есть такие строки: «...Какая легкая архитектура этого внутреннего дома, какие маленькие простенки между окнами – окна огромные, широкие, во всю вышину этажей... Но какие эти полы и потолок? Из чего эти двери и рамы окон? Что это такое? Серебро? Платина?.. Ах, знаю теперь, Саша показывал мне такую дощечку, она была легка, как стекло, и теперь уже есть такие серьги, броши; да, Саша говорил, что рано или поздно алюминий заменит собой дерево, может быть, и камень. Но как же все это богато. Везде алюминий и алюминий... Вот в этом зале половина пола открыта, тут и видно, что он из алюминия...»

Но когда писались эти пророческие строки, алюминий по-прежнему оставался главным образом ювелирным металлом. Интересно, что даже в 1889 г., когда Д. И. Менделеев находился в Лондоне, ему в знак признания его выдающихся заслуг в развитии химии был преподнесен ценный подарок – весы, сделанные из золота и алюминия.

Сент-Клер Девиль развил бурную деятельность. В местечке Ла-Гласьер он построил первый в мире алюминиевый завод. Однако в процессе плавки завод выделял много вредных газов, которые загрязняли

атмосферу Ла-Гласьера. Местные жители, дорожившие своим здоровьем, не желали жертвовать им ради технического прогресса и обратились с жалобой к правительству. Завод пришлось перенести сначала в предместье Парижа, а позднее на юг Франции.

Однако к этому времени многим ученым уже стало ясно, что, несмотря на все старания Девиля, его метод не имеет перспектив. Химики разных стран продолжали поиски. В 1865 г. русский ученый Николай Николаевич Бекетов (1827–1911) предложил интересный способ, который быстро нашел применение на алюминиевых заводах Франции и Германии. Однако и этот способ не смог стать достаточно экономичным.

Важной вехой в истории алюминия стал 1886 г., когда независимо друг от друга американец Чарльз Мартин Холл (1863–1914) и француз Поль Луи Туссен Эру (1863–1914) разработали электролитический способ производства этого металла.

История науки и техники знает немало примеров, когда двум ученым в один и тот же год удавалось прийти к одинаковым выводам или открытиям. Данное совпадение «усугубляется» тем, что Холл и Эру родились в 1863 г., а скончались оба изобретателя, словно сговорившись, в 1914 г.

Идея была не нова: еще в 1854 г. немецкий ученый Бунзен высказал мысль о получении алюминия электролизом его солей. Но прошло более тридцати лет, прежде чем эта мысль получила практическое воплощение. Поскольку электролитический способ требовал большого количества энергии, первый в Европе завод для производства алюминия электролизом был построен в Нейгаузене (Швейцария) близ Рейнского водопада – дешевого источника тока.

Таким образом, в 80-х гг. XIX в. наступил перелом, который скоро привел к промышленному производству алюминия. Этот перелом был связан с появлением более совершенных конструкций генераторов электрического тока и строительством первых гидроэлектростанций, позволивших на широкой основе организовать дешевое электролитическое производство алюминия. В качестве примера можно указать, что в 1898 г. уже работали восемь заводов по производству алюминия, в том числе заводы у Ниагарского и Рейнского водопадов, дававших дешевую энергию. На четвертой Петербургской электротехнической выставке (1892 г.) отмечалось, что только за три года цена на алюминий снизилась в 37,6 раза.

К концу XIX столетия производство алюминия резко возросло и, как следствие, значительно снизились цены на этот металл, еще не так давно считавшийся драгоценным. Разумеется, для ювелиров он уже не

представлял никакого интереса, зато сразу приковал к себе внимание промышленного мира, находившегося в преддверии больших событий: начинало бурно развиваться машиностроение, становилась на ноги автомобильная промышленность и, что особенно важно, вот-вот должна была сделать первые шаги авиация, где алюминию предстояло сыграть важнейшую роль. В 1893 г. в Москве вышла книга инженера Н. Жукова «Алюминий и его металлургия», в которой автор писал: «Алюминий призван занять выдающееся место в технике и заместить собой если не все, то многие из обыденных металлов...» Для такого утверждения имелись основания: ведь уже тогда были известны замечательные свойства «серебра из глины».

В нашей стране производством алюминиевых сплавов занимался сначала лишь Кольчугинский завод по обработке цветных металлов, который выпускал в небольших количествах кольчугалюминий – сплав, по составу и свойствам сходный с дуралюмином. Из этого сплава молодой авиаконструктор А. Н. Туполев изготовил сначала аэросани, которые успешно выдержали испытания на бескрайних заснеженных полях. После такой предварительной проверки кольчугалюминию предстояло подняться в воздух: в 1924 г. из него был построен первый советский металлический самолет «АНТ-2».

Успешное проведение промышленных опытов позволило приступить к сооружению Волховского и Днепровского алюминиевых заводов. В 1932 г. вступил в строй первый из них, а спустя год – второй.

В этот же период значительные природные запасы алюминиевых руд были обнаружены на Урале. На базе найденных месторождений был построен Уральский алюминиевый завод, а спустя несколько лет (уже в годы войны) – Богословский, который выдал свою первую продукцию в исторический День Победы – 9 Мая 1945 г.

В наше время значение алюминия ничуть не снизилось, а потребность в нем непрерывно возрастает. Это хорошо видно по росту производства алюминия в мире и в нашей стране. Так, в 2012 г. мировое производство алюминия превысило 46 млн т.

Применение в металлургии электрических печей. Все возрастающая потребность в высоколегированном металле, а также строительство мощных гидроэлектростанций – поставщиков дешевой электроэнергии – способствуют развитию электрометаллургии – производству металла высокого качества.

По тому, как преобразуется электрическая энергия в тепловую, различают печи дуговые и индукционные.

В 1802 г. предсказал возможность применения электрической дуги для плавки металлов ее открыватель известный физик, академик Василий Владимирович Петров.

Впервые практически электрическая энергия начинает применяться в печах в качестве источника тепла во Франции в 90-х гг. XIX в. В 1898–1899 гг. изобретатели Э. Стассано в Италии и П. Эру во Франции создали вполне работоспособные дуговые печи для плавки стали, а также для рудовосстановительной плавки, получившие затем широкое практическое применение. В печах Стассано использовалась электрическая дуга, возникающая между двумя угольными электродами (рис. 5.2, *а*), а в печах Эру – электрическая дуга между угольным электродом и металлом (рис. 5.2, *б*).

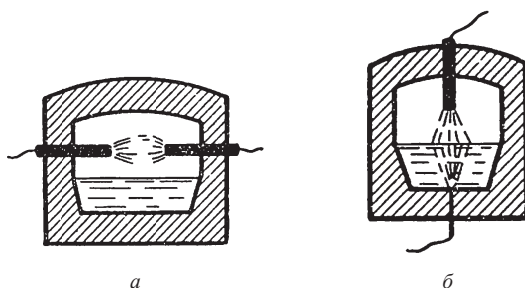


Рис. 5.2. Принципиальные схемы электродуговых печей:
а – с косвенной дугой, *б* – с дугой прямого действия

Большой вклад в развитие электрометаллургии внесли русские ученые и изобретатели. Еще в 1901 г. инженером В. П. Ижевским была создана электроплавильная печь сопротивления. В этой области работали А. Лодыгин, С. Тельный, С. Штейнберг и другие.

После Первой мировой войны электричество прочно входит в металлургию. После Второй мировой войны значительное развитие получили электропечи для получения ферросплавов.

Плавка стали в дуговой электрической печи проходит под действием тепла этой самой электрической дуги, только очень мощной, которая горит между электродами и металлом, помещенным в печь (рис. 5.3). В печи достигается высокая температура (в месте горения дуг свыше 5 000 °С), которая вместе с восстановительной атмосферой, создаваемой при горении электрических дуг, позволяет выплавлять стали, легированные такими тугоплавкими добавками, как вольфрам и молиб-

ден. В таких печах можно полнее очищать металл от вредных примесей, рафинировать его и получать сталь более высокого качества. Таким образом, в дуговых электропечах можно выплавлять любую сталь с каким угодно количеством самых различных добавок.

Дуговая электропечь имеет вид огромной чаши диаметром более 7 м и высотой 5,5 м. Как и другие металлургические агрегаты, снаружи она покрыта листовым металлом – одета в сварной металлический кожух, а изнутри выложена огнеупорным кирпичом (рис. 5.3). Сверху чаша закрыта крышкой – сводом из высокоогнеупорного материала (ему приходится работать в особых условиях температурных перегрузок – тепло отражается и от зеркала расплавленного металла, и от электрических дуг, а дуги горят очень ярко). В своде выполнены три водоохлаждаемых отверстия, через каждое из них в печь пропускают огромный графитированный стержень – электрод.

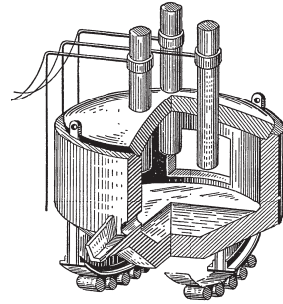


Рис. 5.3. Схема электропечи П. Эру

К электродам по медным водоохлаждаемым проводникам подается электрический ток. На плавку только одной тонны стали в дуговых электропечах тратится в среднем 470–600 киловатт-часов электроэнергии. Мощности трансформатора современной 100-тонной дуговой электропечи (70–80 мегавольт-ампер) вполне хватит на освещение большого города. Поэтому сталь, выплавляемая в таких печах, стоит дороже той, которая производится в других сталеплавильных агрегатах.

Свод дуговой электропечи подвешен (его крепят при помощи цепей к portalу), и, когда нужно провести загрузку, специальный механизм поднимает его, а печь в это время выкатывается из-под свода на рабочую площадку цеха (на некоторых печах для загрузки свод отворачивают в сторону, а открытый таким образом корпус остается на месте). Мостовой кран подает к открытой печи огромную корзину, или, как ее называют, бадью, днище которой состоит из гибких секторов. На шихтовом дворе заранее в определенной последовательности в бадью загружают все необходимое для выплавки стали. Ближе к центру (к электрическим дугам) помещают крупные куски лома (балки, рельсы, пущенные на переplав), чтобы они быстрее расплавились, вокруг раскладывают более мелкие куски (обрезь металла). Бадью устанавливают точно над печью, раскрывают ее, и шихта сгружается в корпус печи, ко-

торый тут же возвращают под опускаемый на него свод. Через отверстия в нем электроды вводят в печь и начинают плавку.

Ослепительно горят электрические дуги между каждым электродом и металлом (металл является проводником, и ток перетекает от электрода к электроду через металл, образуя замкнутую цепь). Электроды опускаются все ниже, прокладывая себе путь в расплавляющейся шихте, и постепенно под каждым из них образуется озерцо жидкого металла.

Электropечь очень подвижна. Поворачивая ее вокруг вертикальной оси в одну и другую стороны на определенный угол, можно ускорить плавку (перемешать металл, сократить время его расплавления). Установлена печь на огромных секторах, и, когда нужно, ее наклоняют: для удаления, или, как говорят металлурги, «скачивания», шлака на 5–10 градусов в одну сторону, для выпуска готового металла на 45 градусов – в другую.

В период Первой мировой войны были изобретены индукционные печи высокой частоты, представляющие собой тигель с металлом, обвитый проводником, по которому пропускаться ток высокой частоты (рис. 5.4). В индукционных печах для выплавки металла используется тепло, которое выделяется при прохождении электрического тока через металл. Такая печь состоит из индуктора, внутрь которого вставлен тигель (он похож на большой стакан из огнеупорного материала). Металлическую шихту (металлический лом) загружают в этот тигель. При подключении индуктора к сети в металле индуцируется электрический ток, при прохождении которого выделяется тепло. В индукционных печах получают более чистый металл, чем в дуговых, но емкость их невелика, а для работы требуется дорогое и громоздкое вспомогательное оборудование. Поэтому на заводах черной металлургии для выплавки больших количеств высоколегированных сталей применяют дуговые электропечи.

Порошковая металлургия. Порошковая металлургия – это технология получения заготовок из металлических порошков. Суть технологии довольно проста: из специально подготовленного порошка при помощи пресса получают спрессованный полуфабрикат – прессовку. Затем ее подвергают нагреву, в результате которого порошинки сплавляются, а поры в прессовке исчезают. Такие изменения могут происходить при температурах существенно меньших, чем обычная температура плавления материала порошка, поэтому возможно обрабатывать весьма тугоплавкие материалы. После охлаждения получают готовое изделие.

Порошковая металлургия позволяет изготавливать новые материалы путем смешения порошковых компонент, которые никак иначе не получить в виде смеси в одном изделии.

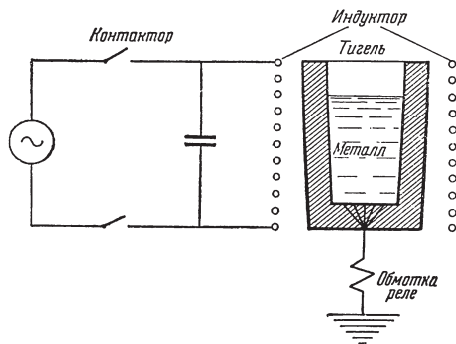


Рис. 5.4. Схема индукционной плавильной печи емкостью от 10 до 18 т (ток промышленной частоты)

Вероятно, первыми освоили технологию порошковой металлургии древние индусы. Были найдены золотые монеты, изготовленные с невероятно точной массой. Обычно монета изготавливалась в Древнем мире из расплюсненной в лепешку заготовки, отрубленной от прутка. При таком способе изготовления монет их масса изменялась в довольно широких пределах. Как же древние индусы смогли получить монеты с одинаковой массой? Секрет был раскрыт: оказывается, они сначала делали развески из золотого порошка, а их можно измерить очень точно. Потом на глиняном «подносе», с углублениями для каждой развески, порошок плавил. В результате получались округлые золотые «блины» – идеальные заготовки для монетного производства.

С качественной металлургией неразрывно связано развитие порошковой металлургии в наше время, обеспечившей получение широкой гаммы металлических материалов и полуфабрикатов из них для различных областей новой техники. Благодаря порошковой металлургии стало возможным получение заготовок и изделий из тугоплавких металлов – вольфрама, молибдена, тантала и некоторых других, широко применяемых в светотехнической и электровакуумной технике.

В новое время внимание на порошковую металлургию обратили в первой половине XIX в. Воссоздание этого металлургического процесса было связано с потребностью в тугоплавких металлах, выплавка

которых обычными методами и в существующих типах плавильных печей в то время не представлялась возможной. Платина с температурой плавления $1\,773\text{ }^{\circ}\text{C}$ была именно тем металлом, из которого методом порошковой металлургии удалось изготовить монеты и другие изделия. Впервые чистую платину и изделия из нее получили в 1826 г. методом порошковой металлургии русские ученые – член-корреспондент Российской академии наук П. Г. Соболевский (1781–1841) и металлург В. В. Любарский (1795–1852).

Исключительно важную роль сыграла порошковая металлургия в создании твердых сплавов, революционизировавших обработку металлов давлением и резанием. Подробнее о применении порошковой металлургии для изготовления сверхтвердого инструмента см. § 5.9.

Успехи в атомной энергетике, двигателестроении, вычислительной технике, радиоэлектронике, инструментальной промышленности и машиностроении непосредственно связаны с прогрессом в области получения новых материалов, изготавливаемых методом порошковой металлургии.

5.2. Совершенствование технологии обработки металлов давлением в конце XIX – начале XX в.

Обработка металлов давлением в рассматриваемый период получила значительное развитие. Это было связано как с совершенствованием известных технологий путем создания новых видов оборудования и технологических приемов, так и с расширением номенклатуры обрабатываемых материалов. Так, именно в рассматриваемый период появляется массовая технология выплавки алюминия, расширяется производство меди и других цветных металлов, что повлекло широкое внедрение обработки их давлением.

Непрерывные прокатные станы. Идея создания прокатного стана непрерывного действия давно существовала среди ученых и изобретателей. Некоторые ранние попытки построить такой стан, относящиеся к последней трети XVIII в., несмотря на их безусловную прогрессивность, не могли тогда получить практического воплощения в силу недостаточного технологического развития.

В 1798 г. непрерывный прокатный стан с горизонтальными валками предложил в Англии У. Хезлидайн. Стан состоял из трех прокатных клетей дуо (рис. 5.5), связанных друг с другом направляющими, по ко-

торым прокатываемая полоса последовательно передавалась из клетки в клетку. Изобретение У. Хезлидайна не было реализовано.

Первых практических результатов удалось добиться в 60-х гг. XIX в. английским изобретателям Ч. Уайлю и Дж. Бедсону. Уайль в 1861 г. получил патент на изобретение непрерывного прокатного стана, состоящего из горизонтальных и вертикальных валков. Непрерывные станы конструкции Уайля к концу 60-х гг. XIX в. работали на нескольких английских заводах. Они имели две, иногда три прокатные клетки дуо с попеременно чередующимися горизонтальными и вертикальными валками, располагающие одним квадратным калибром. Прокатные станы Ч. Уайля служили для обжатия криц и заготовок из сварочного железа. Их считают как бы прообразом появившихся в 80-х гг. XIX в. непрерывных заготовочных и сутуночных станов.

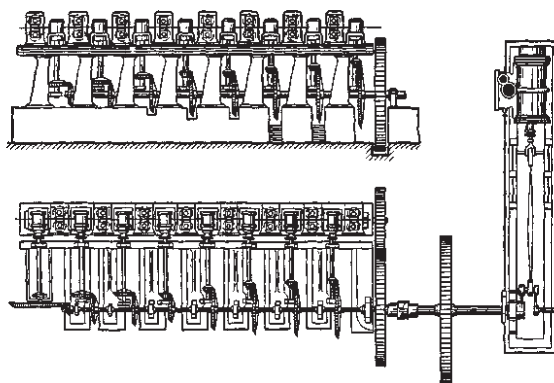


Рис. 5.5. Непрерывный прокатный стан с горизонтальными валками, запатентованный в 1798 г. У. Хезлидайном

Непрерывные прокатные станы Бедсона сыграли исключительно важную роль в развитии сортовой и проволоночной прокатки. Изобретение Дж. Бедсоном непрерывного прокатного стана закреплено патентом, выданным ему в июле 1862 г. Непрерывный стан Бедсона состоял из нескольких пар вертикальных и горизонтальных валков (от 13 до 16), расположенных друг за другом на расстоянии, несколько меньшем длины прокатываемой полосы (рис. 5.6).

Такая система расстановки клетей обеспечивала автоматическую подачу прокатываемого металла в валки. Попеременная горизонтальная и вертикальная расстановка валков не требовала периодической кан-

товки заготовки во время ее перемещения от клетки к клетке. Скорость движения валков возрастала по мере уменьшения площади поперечного сечения прокатываемой полосы, что повышало скорость прокатки.

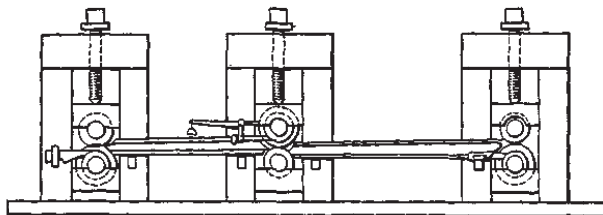


Рис. 5.6. Непрерывный прокатный стан Дж. Бедсона, запатентованный в 1862 г.

Дж. Бедсон прокатывал заготовку весом 25 фунтов (11,33 кг) за 15 с, что, по его словам, составляло четверть обычного времени. Кроме того, вместо обычного для прокатного стана штата в шесть человек новый стан обслуживал один рабочий и мальчик. Производительность стана составляла до 20 т железной проволоки за десятичасовую смену. Не желая перегружать двигатель, Бедсон ограничивался заготовками до 50 фунтов (22,66 кг). В производстве применяли заготовки 45 кг и даже большей массы, позволявшие получать катаную проволоку длиной до 200 м и более. Так, на Парижскую всемирную выставку 1867 г. один из английских заводов представил образец железной проволоки диаметром 6,57 мм, длиной 485 м и массой 130 кг, изготовленный из пудлингового железа.

Несмотря на преимущества непрерывных прокатных станов, их распространение сначала шло сравнительно медленно. Перелом произошел в начале 70-х гг., после того как пудлинговое железо уступило место бессемеровской и маргеновской стали.

Непрерывная прокатка литой стали резко повысила производительность станов, и крупные заводы, главным образом в Америке, стали их совершенствовать. В 1869 г. непрерывный стан Бедсона был построен на заводе Вашбурна в Ворчестере (США), где по инициативе Ч. Моргана в схему прокатки включили непрерывную нагревательную печь и автоматический барабан для намотки катанки (прутков, служащих заготовками для проволоки). Производительность стана возросла с 7 до 50 т в смену. В 1878 г. Морган предложил реконструировать стан Бедсона. Для предохранения подшипников вертикальных валков от ока-

лины он установил их горизонтально и ввел направляющие для кантовки заготовки.

Усовершенствованный непрерывный прокатный стан системы Бедсона получил к концу XIX в. большое распространение. При введении одновременной прокатки нескольких заготовок (валки имели до четырех ручьев) и увеличении скорости прокатки до 17 м/с (последняя пара ручьев) производительность непрерывных станом возросла до 200 т катаной проволоки за десятичасовую смену. По скорости непрерывные проволочные станы почти в два раза превосходили наиболее совершенные прокатные станы других типов, прокатывающих проволоку петлями (стан системы Гаррета с четырьмя линиями клетей имел максимальную скорость прокатки до 9–10 м/с).

Стремление повысить эффективность технологии прокатного производства диктовало необходимость дальнейшего развития систем прокатных станом на основе наиболее рационального размещения в них рабочих клетей. Эта задача решалась с учетом назначения стана, числа проходов металла между валками и заданной производительности.

Начавшееся в первые десятилетия XX в. широкое распространение электрического привода революционизировало развитие техники прокатки металлов. Электрический двигатель открыл широчайшие перспективы для дальнейшего прогресса прокатных станом, повышения их мощности, надежности, компактности и экономичности. Важнейшая положительная особенность электропривода – плавность включения и быстроедействие. Электрический привод дал возможность точно регулировать скорости прокатных валков в отдельных клетях, определяемые технологией производства, а также создать станы с автоматизированным управлением.

Наиболее прогрессивной системой привода рабочих валков, получивших широкое распространение в современных прокатных станом, стал привод, в котором каждый валок приводится в действие индивидуальным электродвигателем. Заметим, что этот принцип был известен еще в начале XVIII в. и применялся на вододействующих заводах, где каждый рабочий валок прокатного стана приводился в действие от самостоятельного гидравлического колеса.

Повышение требований к точности размеров катаных полуфабрикатов и изделий вызвало необходимость дальнейшего совершенствования способов прокатки, создания станом с многовалковыми клетями (рис. 5.7), уменьшающими или исключаящими прогиб валков в процессе прокатки и придающими конструкции необходимую жесткость.

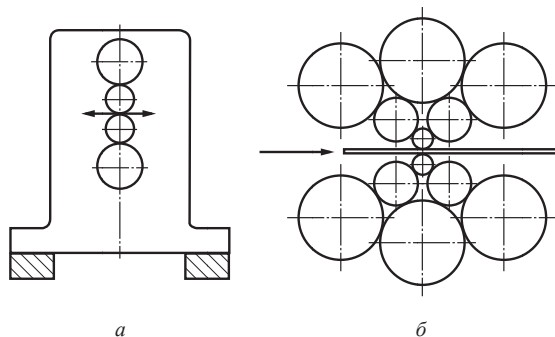


Рис. 5.7. Схемы прокатных станов: а – кварто-стан; б – много-валковый стан

Логическим продолжением развития 3-валкового прокатного стана явился 4-валковый стан (кварто, рис. 5.7, а). В нем два рабочих валка опираются на два опорных валка большего диаметра. Все валки расположены в одной вертикальной плоскости. Эта конструкция обеспечивает создание жесткого рабочего валка большой длины. Соотношение диаметров рабочих и опорных валков обычно составляет в этих станах 1:2, иногда 1:2,5. Приводными являются два рабочих валка, соединенных с шестеренной клетью.

Станы кварто получили широкое распространение в технологии горячей и холодной прокатки тонкого листа и ленты из стали и цветных металлов. Идея создания 4-валкового стана была высказана в XIX в. Однако при разработке конструкции стана встретились серьезные технические трудности, разрешить которые удалось лишь в начале XX в. К концу 20-х – началу 30-х гг. станы кварто уже достаточно широко применялись в промышленности. По сравнению с тонколистовыми станами дуо станы кварто позволили изготавливать более тонкую стальную ленту, иногда даже без промежуточных отжигов. Стремление к дальнейшему совершенствованию тонколистовой прокатки привело к созданию в последние десятилетия шести-, двенадцати- и двадцативалковых прокатных станов (рис. 5.7, б).

Прокатка бесшовных труб. К числу крупнейших достижений прокатки относится изобретение способа прокатки бесшовных труб. Идея способа была высказана в 1884 г. немецким инженером и предпринимателем Рейнхардом Маннесманом (1856–1922). В 1885 г. он и его брат Макс Маннесман взяли патент на валковый прошивной стан, в котором нагретая сплошная заготовка или слиток превращались в тол-

стостенную короткую трубу или гильзу. На рис. 5.8 показана схема прокатки труб по способу Маннесманов. Устройство состоит из двух вращающихся в одном направлении валков, оси которых расположены под углом друг к другу (косорасположенные валки). Возникающая между валками и заготовкой сила трения T направлена под углом к оси заготовки. В процессе взаимодействия заготовки и валков она разлагается на две составляющие силы P_1 и P_2 . Сила P_1 , являясь касательной к окружности заготовки, приводит ее во вращение; сила P_2 направлена параллельно оси заготовки, сообщая ей поступательное движение. При одновременном вращательном и поступательном движении заготовка надвигается на помещенную перед ней оправку 3, которая препятствует ее поступательному движению. В результате периферийные слои металла вытягиваются валками по винтовой линии вдоль оправки, выходя из конусов в виде трубы.

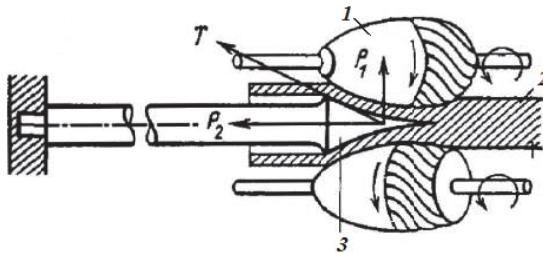


Рис. 5.8. Схема прокатки труб по способу немецких инженеров М. и Р. Маннесманов, запатентованному в 1885 г.: 1 – конические валки; 2 – заготовка; 3 – оправка; T – сила трения; P_1 – сила, касательная к окружности заготовки; P_2 – сила, параллельная оси заготовки

Процесс Маннесманов был впервые опробован в заводских условиях в 1887 г. Установка состояла из шести машин. Самая крупная из них могла прошивать сплошные заготовки диаметром до 2 254 мм. В 1891 г. Маннесманы создали так называемый пилигримовый прокатный стан для раскатки толстостенной короткой гильзы в длинную трубу с нормальной толщиной стенки. Стан для раскатки состоял из двух валков, имеющих калибры переменного сечения по окружности.

На основе своих патентов Маннесманы создали в 1890 г. в Германии крупнейший концерн «Маннесманретен верке», ставший вскоре ведущим поставщиком труб на мировом рынке. В 1893 г. трубопрокатный стан Маннесмана с огромным успехом экспонировался на Всемир-

ной выставке в Чикаго. Присутствовавший там знаменитый американский изобретатель Т. А. Эдисон на вопрос, что больше всего произвело на него впечатление на выставке, сразу же ответил, что это бесшовная стальная труба, изготовленная Маннесманом.

Автоматизация прокатного производства. В связи с непрерывным ростом скоростей прокатки, достигших в последней трети XIX в. 10 м/с, возникла необходимость автоматической передачи прокатываемой полосы из клетки в клетку или из одного ручья в другой в одной и той же клетке. Существовавшая до 70-х гг. XIX в. практика ручного обслуживания стана, при котором рабочий должен был «поймать» выходящий из ручья конец заготовки и «завести» его в следующую пару валков, стала затруднительной и опасной. Эта задача была решена путем создания специальных приспособлений – автоматических проводок (обводок). В 1877 г. Мак-Каллип предложил проводку для передачи прокатываемой полосы из верхней пары валков одной клетки в нижнюю пару валков другой клетки. Изобретение Мак-Каллипа и некоторых других инженеров дало толчок дальнейшим работам в этой области. В 1910 г. инженер Шепф предложил проводку в черновой линии стана, обеспечившую автоматическую подачу полосы в валки овального калибра. Значительный вклад в совершенствование проводок внес инженер Мозанер. Созданием автоматических проводок Шепфа и Мозанера была успешно разрешена проблема безопасных условий эксплуатации и высокопроизводительной работы прокатных станов.

Развитие прокатного производства в СССР. До начала 30-х гг. советская металлургическая промышленность пользовалась в основном прокатным оборудованием, доставшимся от царской России. Всего на советских заводах до 1932 г. работало 11 блюмингов, из них 8 – в южных районах страны (главным образом на Украине) и 3 – на Урале. Перевооружение отечественных сталепрокатных заводов началось в годы первой пятилетки с созданием собственной базы прокатного машиностроения. Первый советский обжимной стан – блюминг 1150 – построен в 1932 г. на Ижорском машиностроительном заводе и установлен на Макеевском металлургическом заводе (г. Донецк). Второй аналогичный блюминг изготовлен для Днепродзержинского металлургического завода (ныне Днепровский металлургический комбинат им. Ф. Э. Дзержинского). Стан приводился в действие электромотором мощностью 8 000 л. с. и мог прокатывать слитки массой 7 т. За период с 1931 по 1933 г. на советских заводах было установлено 8 мощных блюмингов 1150, 4 блюминга 950, из которых 10 станов построили заводы тя-

желого машиностроения (Ижорский, Краматорский и Уралмаш), а два стана получены из Германии. С 1937 г. в СССР сооружается первый слябинг, разработанный коллективом Новокраматорского машиностроительного завода и пущенный на заводе Запорожсталь.

В предвоенные годы отечественное прокатное производство сделало огромный качественный скачок как по росту объема выпуска проката, так и в области развития прокатных машин и технологии. Черная и цветная металлургия располагала практически всеми видами прокатного оборудования, находящегося и на вооружении зарубежных прокатных заводов.

Вторая половина текущего столетия характеризовалась глубоким проникновением достижений научно-технической революции в сферу прокатного производства. К 50-м гг. были решены многие проблемы, связанные с механизацией и частичной автоматизацией прокатных станов и трудоемких производственных процессов. Создается более мощное прокатное оборудование, обеспечивающее получение крупноразмерных полуфабрикатов и изделий. Разрешаются сложные научно-технические проблемы, связанные с разработкой литейно-прокатных агрегатов, в которых объединены процессы непрерывного литья слябов, блюмов или другой заготовки с прокаткой, повышающих эффективность производства (рис. 5.9). Важное преимущество литейно-прокатных агрегатов – использование первичной теплоты слитка при его дальнейшей пластической деформации и достижение полной непрерывности в процессах литья и прокатки. При этом обеспечивается резкое повышение производительности труда, уменьшаются масса оборудования и производственные площади.

В последние десятилетия XX в. был сделан заметный шаг вперед в реализации старых и разработке новых способов совмещения прокатки с непрерывным литьем. Предложенный в 1855 г. Г. Бессемером способ бесслитковой прокатки стал отправной точкой для дальнейших напряженных исследований в СССР, США и некоторых других странах. Советские ученые и специалисты начали заниматься проблемой бесслитковой прокатки в 30-х гг. на предприятиях черной и цветной металлургии. Однако на реальную практическую основу процесс бесслитковой прокатки был поставлен в послевоенные годы. Первая в СССР промышленная установка бесслиткового литья и прокатки алюминия была создана в 1965 г. и успешно внедрена на Ленинградском заводе по обработке цветных металлов.

В условиях функционирования и развития столь сложных систем прокатного производства, резкого повышения скоростей прокатки, до-

стигших у современных проволочных станов 60–70 м/с и у листовых 40–50 м/с, потребовались коренные преобразования в управлении прокатными станами и технологическими процессами. Революционизирующим фактором стала вычислительная техника, использование которой в прокатных производствах позволило автоматизировать основные и вспомогательные участки технологических линий, оптимизировать режим работы прокатных станов, повысить производительность труда.

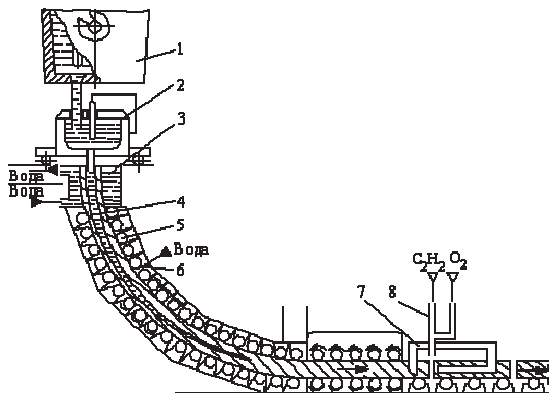


Рис. 5.9. Схема машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ): 1 – ковш с жидкой сталью; 2 – промежуточное разливочное устройство; 3 – кристаллизатор; 4 – затвердевающий слиток; 5 – тянущие валки; 6 – форсунки; 7 – зона резки; 8 – газовый резак

ЭВМ передаются функции оперативного учета производства и слежения за прокатываемым металлом; программного управления нажимным устройством и манипуляторными линейками; автоматического управления скоростными режимами главного привода и транспортно-кантующих механизмов; оптимизации скоростных режимов.

В СССР работы по использованию ЭВМ в управлении обжимными, листовыми сортовыми прокатными станами начались в начале 60-х гг. Использовались ЭВМ типа «Днепр», УМ 1-НХ, УМ-1 и ВНИИЭМ, созданные советской промышленностью. В настоящее время в России ЭВМ используются в отечественной прокатной технике, и проведение любой операции ведется под автоматическим контролем.

Совершенствование паровых молотов. По мере развития машинно-фабричного производства изменялись функции кузнечной обработки в металлургии и машиностроении. Раньше, при кричном переде-

ле, молот не только был составной частью основного технологического оборудования, связанного с получением компактного кричного железа, но и применялся на конечной стадии производства для отковки из него разнообразных полуфабрикатов и изделий (полосы, прутки и т. п.). В технологическую схему puddling-производства вместо кузнечной обработки крицы под молотом был введен прокатный стан, с помощью которого осуществлялись одновременно обжим крицы в калиброванных валках и прокатка сортового железа. В результате частично отпала трудоемкая кузнечная обработка крицы под молотом и последующая ее расковка на прутки и полосы, которые с большей эффективностью стали изготавливать прокаткой. Молот сохранился в железоделательном производстве в основном для предварительного слабого обжатия крицы, поступающей в валки прокатного стана.

Вместе с тем в условиях бурного развития машиностроения непрерывно возрастала потребность в крупных кованных деталях для разнообразных машин и механизмов. Машиностроение становится средоточием специализированных цехов по кузнечной обработке металла, стимулируя создание мощных паровых молотов. Их значение еще более возрастает после появления в 50–60-х гг. XIX в. массовых способов производства литой стали. Бессемеровский и мартеновский процессы получения литой стали, революционизировавшие черную металлургию, предоставили в распоряжение машиностроителей крупные стальные отливки, обработка которых потребовала сверхмощных паровых молотов. Среди потребителей таких молотов были орудийные, судостроительные, механические и другие заводы.

Мировые достижения в области конструирования и сооружения паровых молотов, проблемы их технологического применения в производстве живо интересовали русских ученых и инженеров. Молот Нессмита почти сразу же после его появления был принят на вооружение отечественной промышленностью. В 1848 г. в Англии были закуплены для России два паровых молота, установленные на Екатеринбургской механической фабрике и Боткинском заводе «со всеми нужными устройствами для проварки иковки различных частей паровых машин». В то время машиностроительная промышленность России находилась в стадии оживленного развития, связанного, в частности, с проблемой производства паровых машин для речных и морских судов.

Одним из ведущих отечественных предприятий, оборудованных мощным кузнечным производством, был Обуховский завод в Петербурге, на котором в 1863 г. началось изготовление стальных артиллерий-

ских орудий и в 1865 г. здесь установили крупнейший по тем временам паровой молот простого действия системы Моррисона с массой падающих частей 35 т.

В 1872 г. Обуховский завод экспонировал на Московской политехнической выставке ствол 12-дюймового артиллерийского орудия, изготовленного из стального слитка массой 40 т. С 1873 г. предприятие приступило к выпуску стальных кованых валов для крупных судовых двигателей. Оно располагало 12 паровыми молотами.

Шабот (основание для нижнего бойка) молота Обуховского завода, отлитый из чугуна, состоял из 4 частей и имел массу 460 т. Установка такого шабота потребовала сооружения огромного бетонного фундамента, для которого был вырыт котлован длиной 25,6 м, шириной 14,3 м и глубиной 9,8 м. По проекту отечественных специалистов каждая из двух станин молота имела свой собственный фундамент, между которыми был сооружен фундамент для шабота. Станины молота располагались одна от другой на расстоянии 8 м. Молот мог делать до 25 ударов в минуту при высоте подъема 2,9 м. Дляковки слитка диаметром 0,9 м, весом 13 т в заготовку диаметром 0,6 м и длиной 2,75 м требовался один час. У молота располагались две печи с выдвигными подинами, обслуживаемые двумя кранами.

В 1873 г. на Всемирной промышленной выставке в Вене экспонировалась модель 50-тонного молота двойного действия, построенного на Пермском пушечном заводе. Молот строился с 1872 по 1873 г. и являлся самым крупным в мире молотом двойного действия. В Европе наиболее мощный паровой молот двойного действия с массой падающих частей 35 т находился в Вульвичском арсенале (Англия).

Интенсивно развивалось производство кузнечного оборудования, в том числе тяжелых паровых молотов, в Англии, Франции, Германии и США. В 1877 г. во Франции на заводе «Шнейдер и К^о» в Крезе был установлен 100-тонный паровой молот, на котором ковали стальные слитки массой в 120 т. Затем молоты такой же мощности появились на другом французском предприятии и в Италии на заводе Терни. Наиболее тяжелый 125-тонный паровой молот был построен (1891 г.) в США на заводе Вифлеемской компании. Все эти сверхмощные молоты были простого действия.

На этом производство гигантских молотов прекратилось, так как выявились большие трудности в их производстве и эксплуатации. Сильные удары молотов вызывали сотрясения зданий цехов и почвы в окрестностях промышленных предприятий, что стало опасным для

целостности окружающих строительных сооружений и самих молотов. Им на смену пришли гидравлические ковочные прессы. Здесь же отметим, что паровые молоты меньшей мощности продолжали совершенствоваться и широко применяться в различных отраслях промышленности не только на протяжении второй половины XIX в., но и в XX в.

Внедрениековки на гидравлических прессах. Появление крупных паровых молотов выявило ряд недостатков, затруднявших их технологическое использование и эксплуатацию. Прежде всего это проявилось в сильных ударах, опасных для целостности производственных построек и самих паровых молотов.

Перед инженерами и конструкторами встала ответственная задача создания принципиально нового кузнечного оборудования, свободного от указанных недостатков. Научно-техническая мысль пошла по пути создания кузнечных машин для обработки металлов давлением статического (неударного) действия. В результате были созданы гидравлические прессы, революционизировавшие кузнечное производство. В первое время гидравлические прессы применяли для прессования металлов, однако вскоре мощные прессы стали вытеснять большие паровые молоты.

Начало промышленному применению гидравлических ковочных прессов положил английский инженер, директор мастерских государственных железных дорог в Вене Д. Газвелл. Предприятие было расположено в черте города, вблизи жилых построек, и установка здесь парового молота оказалась невозможной. Газвелл ищет пути из создавшегося положения и приходит к выводу о возможности замены парового молота гидравлическим прессом (рис. 5.10). В 1859–1861 гг. спроектированный им пресс был изготовлен и установлен в железнодорожных мастерских. Пресс Газвелла обслуживался мощной паровой машиной. Благодаря большому различию диаметров парового и гидравлических цилиндров удалось создать очень высокое для того времени давление – 400 атм. Вода от насосов нагнеталась в рабочий цилиндр прессы, плунжер которого приводил в действие подвижную траверсу с укрепленным на ней верхним бойком (или штампом). Движение подвижной траверсы направлялось четырьмя массивными колоннами. Подъем траверсы осуществлялся штангой, связанной с поршнем небольшого возвратного цилиндра, расположенного над прессом.

Стул прессы Газвелла был снабжен наковальной, которую при необходимости можно было менять. Управление прессом производилось вручную посредством рычагов. Пресс мог по желанию оператора осу-

ществовать периодические и непрерывные давления с различной скоростью. Он предназначался для штамповки паровозных деталей – поршней, крейцкопф, рессорных хомутов, кривошипов и др.

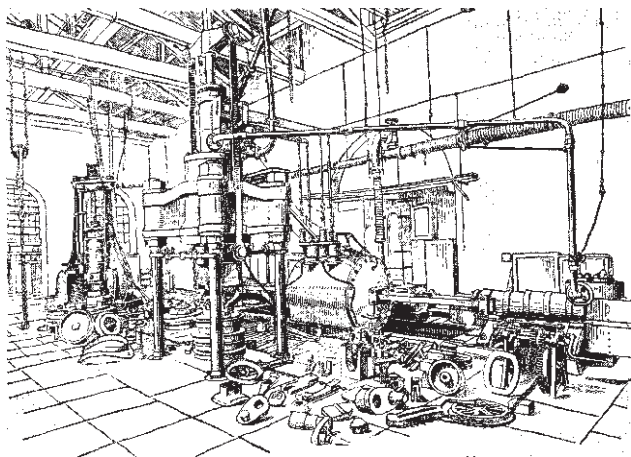


Рис. 5.10. Общий вид мастерской, оборудованной гидравлическим ковочным прессом Газвелла. Вторая половина XIX в.

Первые из построенных Газвеллом гидравлических прессов имели мощность 700, 1 000 и 1 200 т. Вслед за ними были изготовлены еще несколько более крупных прессов усилием 3 000 т и более. Прессы Дж. Газвелла успешно демонстрировались на Всемирных промышленных выставках в Лондоне (1862 г.) и Вене (1873 г.).

В последующие десятилетия шло быстрое распространение гидравлических прессов в промышленности, создавались новые, в том числе гигантские по мощности гидравлические прессы. К концу 80-х – началу 90-х гг. XIX в. мощность прессов достигала 14 000 т.

Другим знаменательным событием в истории кузнечной техники второй половины XIX в. явилось создание специального гидравлического прессы дляковки слитков. Газвелл, создавая свой пресс лишь для штамповки деталей, эту задачу перед собою не ставил.

Человеком, внедрившим обработку слитков на гидравлических прессах, был английский инженер и предприниматель Джозеф Витворт (1803–1887). В 1865 г., увлеченный работами Дж. Газвелла, Витворт применяет гидравлический пресс для прессования жидкой стали с целью получения плотного беспузырчатого слитка. Продолжая работы

в области прессования, Витворт ставит смелую задачу использования огромных технологических возможностей гидравлических прессов для получения непосредственно из слитков необходимых полуфабрикатов и готовых изделий.

О гидравлическом прессе Дж. Витворта, запатентованном во Франции в 1875 г., дает общее представление рис. 5.11. Пресс состоит из четырех колонн, укрепленных в фундаментной плите. На верхней части колонн расположена неподвижная траверса с двумя гидравлическими подъемными цилиндрами. С их помощью перемещается вверх и вниз подвижная траверса, на которой внизу установлен штамп. Оригинальность изобретения состоит в том, что автор соединил подвижную траверсу, несущую гидравлический цилиндр и приспособление для быстрого подъема, спуска и установки траверсы, в определенном положении. Такая компоновка узлов пресса замечательна тем, что при коротком ходе поршня она дает возможность обрабатывать изделия различной высоты.

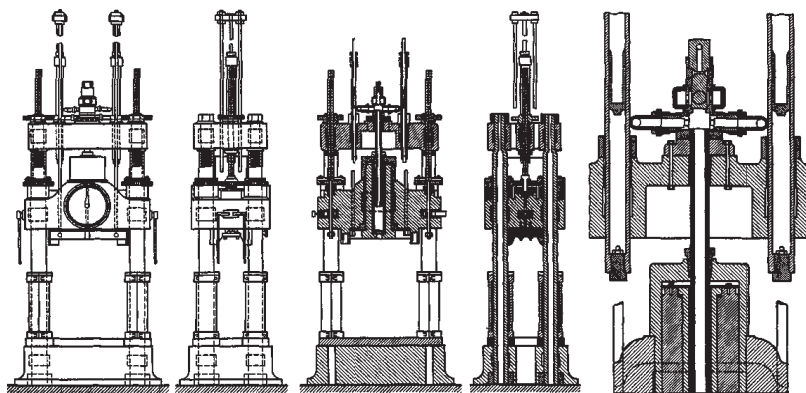


Рис. 5.11. Гидравлический пресс Дж. Витворта (общий вид и разрез). Французский патент от 4 марта 1875 г.

Впервые гидравлический пресс Витворта был применен дляковки слитков в 1884 г. В то времяковка орудийных стволов велась на паровых молотах, которые с появлением пресса Витворта стали быстро терять свою роль в этой области кузнечной обработки. Преимущества гидравлических ковочных прессов перед паровыми молотами оказались бесспорными. Так, в Англии на одном шеффильдском металлургическом заводе дляковки ствола орудия из слитка массой 36,5 т под 50-тонным

паровым молотом требовалось 3 недели и 33 промежуточных нагрева; с применением же гидравлического прессы усилием 4 000 т ковка слитка массой 37,5 т заняла всего 4 дня и потребовала лишь 15 промежуточных нагревов.

Прессы Дж. Витворта получили широкое распространение не только дляковки слитков, но и в производстве броневых плит, изготовлении стволов артиллерийских орудий, крупных валов. Прессы хорошо зарекомендовали себя также в процессах фасоннойковки. Они выпускались мощностью 2 000, 5 000 и 10 000 т.

Применение гидравлических ковочных прессы привело к серьезным техническим преобразованиям на крупных металлургических и машиностроительных заводах. В результате наиболее тяжелые паровые молоты стали замещаться мощными гидравлическими прессами. В 1893 г. демонтировал свой 125-тонный молот Вифлеемский завод в США. Завод Круппа в Эссене заменил 75-тонный паровой молот прессы в 2 000 т. Снял свой 108-тонный молот итальянский завод Терни, установивший вместо него 4500-тонный пресс завода Дэви.

С этой же проблемой столкнулись и отечественные специалисты и предприниматели. Большую работу по изучению состояния и тенденций развития мировой техники кузнечного производства в связи с появлением гидравлических ковочных прессы провела специальная Комиссия по реорганизации Обуховского завода в Петербурге. Необходимость «усиления механических средств завода» обуславливалась увеличением заказов военного ведомства на тяжелые артиллерийские орудия, что потребовало технического обновления производства предприятия. Напомним, что Обуховский завод был ведущим в России по числу и суммарной мощности установленных в его «молотовой мастерской» паровых молотов, в том числе молотов тяжелых. Поэтому вопрос о соотношении в производстве паровых молотов и гидравлических прессы, перспективности того и другого вида кузнечного оборудования приобрел в 80-х г. XIX в. острую технико-экономическую направленность.

Комиссия работала в течение 1885 и 1886 гг. В нее вошли известные ученые и инженеры-производственники. Комиссия посетила ведущие металлургические и машиностроительные заводы Европы и смогла сделать квалифицированные выводы по интересующим русских специалистов вопросам.

В результате Обуховский завод стал оснащаться мощным гидропрессовым оборудованием. В 1886 г. Витворт получил от Обуховского

завода заказ на изготовление 3000-тонного гидравлического пресса, который в течение 1890–1891 гг. был собран и пущен в эксплуатацию. Одновременно 15- и 50-тонные молоты на этом предприятии были демонтированы. Несколько позже, весной 1898 г., на Обуховском заводе установили мощнейший гидравлический пресс усилием 7 500 т.

В России, кроме Обуховского завода, гидравлические ковочные прессы были установлены и на других наиболее крупных предприятиях, в том числе на Таганрогском, Харьковском, Луганском, Балтийском и некоторых других заводах.

5.3. Совершенствование литейного производства в XX в.

Одним из важнейших направлений совершенствования литейного производства в XX в. было повышение производительности и, следовательно, снижение себестоимости продукции. Решение этой задачи неразрывно связано с последовательным внедрением механизации, автоматизации и роботизации в литейное производство.

Литье в песчано-глинистые формы, получившее широкое распространение к началу XX в., не могло удовлетворить потребности производства в получении качественных и точных заготовок. Поверхность таких отливок получается очень шероховатой, геометрическая форма не достаточно точная для многих ответственных деталей машиностроения, сам процесс изготовления формы трудоемкий, при этом форма используется только один раз. Кроме того, литье в формы, имеющие разъем, не всегда обеспечивает получение точной отливки. Хотя обе полуформы стараются тщательно центрировать, получить отливку без «шва», соответствующего плоскости разъема, оказывается делом трудным. Кроме того, в зазор между обеими половинами формы нередко затекает металл и на поверхности отливки образуются ненужные выступы – «заусенцы», которые потом приходится обрубать и стачивать. Поэтому на протяжении всего XX в. шла работа над совершенствованием литейной технологии. В результате появилась широкая гамма различных прогрессивных (часто называемых специальными) способов литья, лишенных тех или иных недостатков литья в песчано-глинистые формы.

Механизация литейного производства. До 30-х гг. XX в. в литейных цехах формовка велась вручную. Лишь кое-где применяли первые ручные формовочные машины. Они позволяли механизировать две-

три из полутора-двух десятков операций, производимых при формовке. Наряду с ручными формовочными машинами шагом вперед было изготовление модельных плит с закрепленными на них половинами моделей. Появление прессовых, встряхивающих и пескочетных формовочных машин было уже революцией в области оборудования литейного производства.

Механизация изготовления литейных форм на этих машинах повлекла за собой и механизацию их транспортировки. При малой производительности литейных цехов в них осуществлялся ступенчатый режим работы, при котором формы изготовляли, собирали, заливали и выбивали на одном и том же месте – на формовочном плацу.

Когда появилась надобность в отливке большого количества однотипных изделий (серийное и массовое производство), литейные цехи стали переходить на параллельный режим работы. Все операции стали производиться одновременно, но в разных местах. Полуформы стали изготовлять на машинах в одном месте, собирать их – в другом, заливать – в третьем и т. д. Таким образом, возникла необходимость в перемещении форм. Первыми устройствами были горизонтальные формовочные конвейеры, по которым формы механически передвигались с одного участка на другой.

С 50-х гг. литейная техника стала развиваться с необычайной быстротой. Появляются первые полуавтоматы, а затем и автоматы, совмещающие операции изготовления формы, ее заливки и выбивки. Создаются раздаточные бункеры для формовочных и стержневых смесей, оснащенные дозаторами, выдающими заданное количество формовочной смеси.

Первые четырехпозиционные автоматы сменяются автоматами карусельного типа, выполняющими полный цикл всех операций.

Создаются автоматические и комплексно-автоматические линии для формовки, заливки и выбивки отливок (рис. 5.12). Они заменили тяжелый труд рабочих.

В литейном цехе с полной механизацией формовки одна пара формовочных машин в лучшем случае способна выдать 60 форм в час. При этом одна из машин изготавливает верхние, другая – нижние полуформы. Формовкой, выбивкой и очисткой отливок при этом занимаются семь человек. Автоматическая же линия формовки, сборки, заливки и выбивки обслуживается пятью рабочими. Она может выдавать за один час 240 форм. Каждые 15 секунд на линию поступает очередная форма. Таким образом, за счет автоматизации выработка на одного рабочего увеличивается почти в 6 раз!

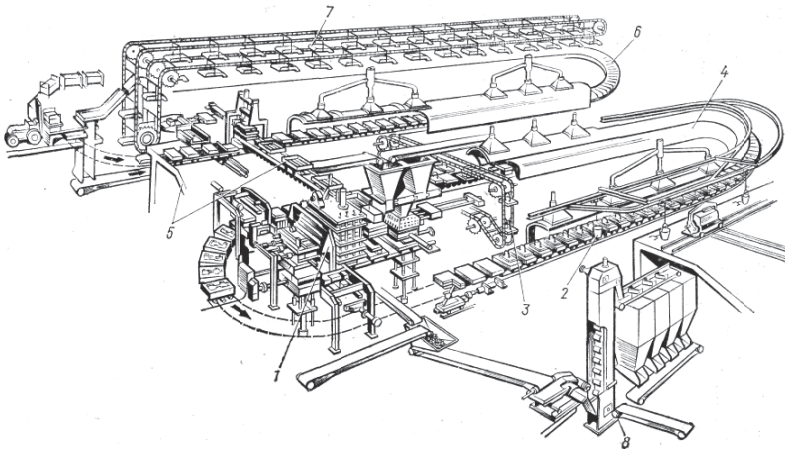


Рис. 5.12. Комплексная автоматическая линия формовки – заливки-выбивки. 70-е гг. XX в.: 1 – формовочный автомат; 2 – заливочный участок; 3 – грузоукладчик; 4 – охлаждающая ветвь конвейера; 5 – конвейер для передачи форм на дополнительное охлаждение и возврата пустых опонок; 6 – конвейер дополнительного охлаждения; 7 – вертикально-замкнутый конвейер дополнительного охлаждения отливок; 8 – участок регенерации смеси

Производство отливок становится все более сложным. Номенклатура изделий ряда литейных цехов насчитывает более 500 наименований и размеров отливок. А ведь отливки нужно изготавливать в комплекте, разными способами и из различных материалов. Одни нужно модифицировать, другие – нет; одни обязательно легируют, другие – нет. Ряд отливок требует дополнительной термообработки. Даже одно планирование производства становится чрезвычайно трудно осуществить. И тут на помощь литейщикам приходит электронно-вычислительная техника.

На многих заводах – как у нас, так и за рубежом – для управления процессами литья используют электронно-вычислительные машины (ЭВМ).

На ЭВМ в литейном производстве возложены многие разнообразные функции. Они выполняют всю работу по планированию производства отливок в необходимом ассортименте, контролируют температуру в печах, температуру жидкого металла при выпуске и при заливке, следят за составом газов, за анализами металла. Они контролируют расход электроэнергии и регулируют подачу тока к печам. ЭВМ производят расчет шихты, расчет количества добавок. Они регистрируют наличие на складах материалов и указывают избыток или недостаток их против

суточной потребности. Кроме того, на ЭВМ возлагаются все расчетно-финансовые операции и учет личного состава.

Прогрессивные способы литья. Литье в кокиль. Применение металлических форм – кокилей – известно с эпохи Возрождения. Первые чугунные формы применялись для литья пушечных ядер. Литье в кокиль имеет существенные преимущества перед литьем в песчано-глинистые формы. Так, при литье в металлические формы отливки отличаются точностью размеров и чистотой поверхности.

Кокили (рис. 5.13) изготавливают из чугуна, стали или алюминиевых сплавов. Используют их не один раз, как песчаную форму, а многократно. Кокили обладают высокой теплопроводностью, поэтому залитый в них металл охлаждается и закристаллизовывается значительно быстрее, чем в песчаной форме. В результате повышается производительность труда и снижается стоимость отливок.

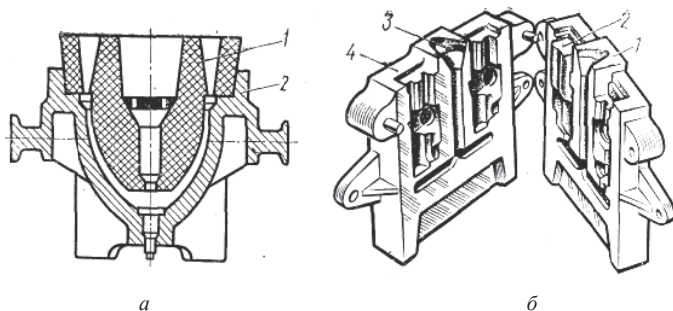


Рис. 5.13. Кокили (металлические формы): а – неразъемный кокиль с отливками, вытряхиваемыми после остывания (1 – стержень; 2 – кокиль); б – разъемный кокиль (1 и 4 – полуформы; 2 – вставка; 3 – литниковая система)

Однако изготовить кокиль гораздо сложнее, чем песчаную форму. Чем сложнее конфигурация отливки, тем труднее изготовить кокиль, тем он дороже. Высокая стоимость кокиля оправдывается только в том случае, если он выдерживает по крайней мере две-три сотни заливок.

Центробежное литье. Такие отливки, как колеса, маховики, шестерни, втулки, кольца, трубы и др., имеющие форму тел вращения, получают во вращающихся формах (рис. 5.14).

Зачем вращать форму при заливке ее металлом? Дело в том, что для получения центральных отверстий и полостей в отливках при центробежном литье не нужны стержни. Ведь под действием центробеж-

ных сил металл сам распределяется у стенок формы и центральное отверстие получается само собой. Кроме того, форма для центробежного литья не нуждается в изготовлении всех элементов литниковой системы: не нужны чаша, стояк, шлакоуловитель, литниковые каналы. Процесс подготовки форм значительно упрощается.

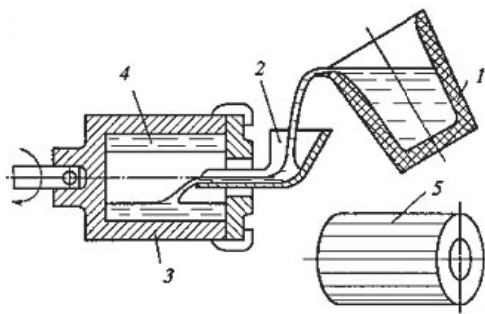


Рис. 5.14. Схема устройства горизонтальной машины для центробежного литья: 1 – ковш с жидким металлом; 2 – желоб; 3 – форма, вращающаяся вокруг горизонтальной оси; 4 – затвердевающая полая отливка; 5 – готовая отливка

Но выгоды от такого способа литья не исчерпываются улучшением технологического процесса, качество металла при центробежном литье также повышается. Расплавленные металлы способны растворять в себе газы: кислород, азот, водород. Чем больше перегрет металл, тем больше в нем растворено газов. Когда форма залита и отливка начинает остывать, растворимость газов в металле снижается, и они в виде пузырей выделяются из расплава. Во время затвердевания отливки в обычных условиях многие пузырьки газа не успевают всплыть кверху и застревают между кристаллами металла. Отливка получается пористой, неплотной. Механические свойства ее при этом, естественно, снижаются. Вот здесь на помощь литейщику приходят законы физики. Если заливку производить не в стационарную, а во вращающуюся форму, то в частицах расплава возникают центробежные силы, которые прижимают их к стенкам вращающейся формы и тем самым уплотняют металл.

Машины для центробежного литья выпускают с вертикальной и горизонтальной осью вращения.

Наибольшее распространение получили машины для центробежного литья труб (рис. 5.14). Формы для такой отливки делают металли-

ческими, и при литье крупных труб они выдерживают по 200–300 заливок. При отливке же цилиндрических втулок (диаметром до 100 мм) форма выдерживает до 3 500 заливок.

Первый патент на производство пустотелых изделий в быстро вращающихся формах (изложницах) был взят в Англии еще в начале XIX столетия. Способ этот заключался в том, что расплавленный металл вливался в быстро вращающуюся форму, отбрасывался центробежной силой к стенкам изложницы, где, разливаясь плотным и равномерным слоем, затвердевал.

Однако в то время дальше пробных отливок дело не пошло. И только через 50 лет впервые были отлиты чугунные газовые трубы длиной более трех метров и началось изготовление таким способом чугунных колес и бандажей.

В 1910 г. немецкий инженер О. Брайде изобрел подвижной литейный желоб для впуска расплавленного металла во вращающуюся форму. Это послужило толчком к дальнейшему развитию центробежного литья, так как появилась возможность отливать трубы любой длины.

Центробежное литье особенно широко распространилось к началу Первой мировой войны, когда промышленность целого ряда стран была вынуждена развернуть массовое производство различных изделий для военных нужд. Помещая изложницы по ободу вращающегося колеса, можно получать не только полые изделия, представляющие собой тела вращения, но также сплошные тела в форме болванок и фасонных деталей.

В Советском Союзе над вопросами центробежного литья начал работать Центральный научно-исследовательский институт машиностроения и металлообработки. Его литейная лаборатория сконструировала и построила в 1933 г. первую машину для отливки двухметровых чугунных труб, а в 1934 г. – машину для отливки фасонных деталей. В настоящее время этот способ получения заготовок широко распространен на металлургических предприятиях России.

Литье под давлением. Повысить качество и размерную точность отливок, улучшить их поверхность и получить более плотный металл можно еще одним способом – литьем под давлением. В этом процессе жидкий металл в металлической пресс-форме подвергают значительно-му внешнему давлению.

Создано большое количество машин для литья под высоким и низким давлением. На них производится множество деталей машин, приборов и аппаратов настолько точных, что никакой дальнейшей об-

работки эти детали не требуют. Литьем под давлением можно получить миниатюрные детали с такой малой толщиной стенок (до 0,8 мм), какую никакими другими способами литья получить не удастся. Давление на металл осуществляется либо сжатым воздухом (компрессорные машины), либо поршнем (поршневые машины). В компрессорных машинах литье проводится под низким давлением (обычно 5–8 атм.), а в поршневых – под высоким давлением, достигающим сотен или даже нескольких тысяч атмосфер (рис. 5.15).

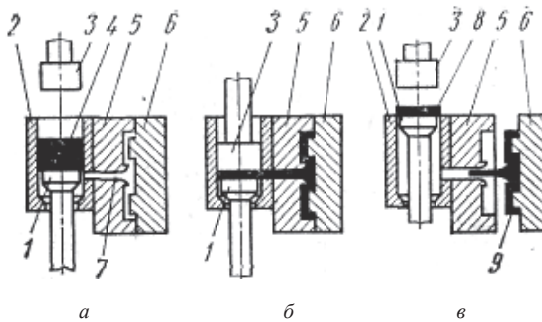


Рис. 5.15. Схема процесса литья под давлением: а – металл залит в камеру прессования; б – прессование; в – раскрытие пресс-формы; 1 – прессовый поршень; 2 – камера прессования; 3 – поршень; 4 – жидкий металл; 5 и 6 – половины пресс-формы; 7 – литник; 8 – остаток металла; 9 – отливка

Производительность машин для литья под давлением высокая. Однако этот способ литья целесообразно применять в массовом производстве, когда окупается высокая стоимость изготовления пресс-форм, особенно если отливки имеют сложную конфигурацию.

Пресс-формы изготавливают из дорогих, специальных сортов инструментальной стали. При литье алюминиевых сплавов стойкость пресс-форм достаточно высока – от 50 000 до 200 000 заливок. При литье же медных сплавов пресс-формы выходят из строя быстрее. Они выдерживают от 5 000 до 50 000 заливок.

Впервые применение давления на расплавленный металл при запрессовке его в пресс-форму осуществил американец Брус в 1838 г. на сконструированной им ручной машине для отливки типографских литер из свинцового сплава. В 60-х гг. XIX в. отливки из цинковых сплавов с температурой плавления 400–450 °С стали получать на поршневых машинах.

Применение в конце XIX в. более производительных компрессорных машин позволило впервые опробовать литье под давлением алюминиевых сплавов с температурой плавления 580–650 °С. Вероятно, в России литье под давлением было впервые применено в 1916 г. на петроградском заводе «Айваз», более широкое применение оно получило на заводах Москвы и Ленинграда только начиная с 1928 г. Конструирование первых машин с холодной камерой прессования в 1924 г. фирмой «Эккерт», а в 1928 г. фирмой «Полак» позволило изготавливать отливки из медных сплавов.

Интенсивное освоение процесса производства отливок, получаемых литьем под давлением из сплавов на основе цинка, алюминия, магния и меди, относится к 30–40-м гг. XX в. В это же время начинается освоение литья под давлением черных металлов (А. Ф. Дурниенко, А. Г. Тукачев и др.). Широкое развитие производства отливок этим способом происходит в послевоенные годы: быстро растет объем производства, улучшается качество отливок, увеличивается их вес, габариты и сложность.

Таким образом, в течение длительного времени литье под давлением применяли только для цветных сплавов со сравнительно невысокой температурой плавления. В настоящее время проблема литья под давлением успешно решена и для чугуна, и для стали, и для ряда сплавов с высокой температурой плавления.

Литье по выплавляемым моделям. Как отмечалось выше, избежать возникновения «шва» на отливке в месте разъема полуформ и возникновения заусенцев можно, лишь отказавшись от применения двух полуформ, имеющих плоскость разъема. Но как тогда удалять из формы модель?

В середине XX в. вспомнили о древних способах литья по восковым моделям. И древний способ снова ожил, правда, на современной технической основе.

Вместо дорогого воска и говяжьего жира теперь выплавляемые модели делают из смеси стеарина и парафина. Модель стремятся изготавливать из дешевого и плавкого материала, который при нагревании легко расплавляется, столь же легко вытекает из неразъемной формы, обеспечивая точность размеров и очертаний литейной формы. Получаемые при этом отливки имеют высокую размерную точность и малую шероховатость поверхности.

Схема литья по выплавляемым моделям приведена на рис. 5.16. Сначала изготавливают модель отливки 1, заливая расплавленный мо-

дельный состав в специально приготовленную пресс-форму 2. После затвердевания модельного состава пресс-форму раскрывают и извлекают из нее модели. Модели 3 с питателями собирают в один блок, включающий литниковую систему 4 из того же модельного состава. Затем приступают к изготовлению оболочки на моделях. Весь блок с моделями опускают в сосуд, содержащий сметанообразную суспензию пылевидного кварца и этилсиликата. Этилсиликат – сложное химическое соединение, обладающее вяжущими свойствами. Налипший на модели слой суспензии посыпают кварцевым песком и сушат 2–4 ч. Таким же путем наносят следующий слой. Так поступают до тех пор, пока не получится оболочка необходимой толщины. После этого формы нагревают до температуры около 90 °С и выплавляют модельный состав. Затем неразъемную, точную форму прокаливают при температуре до 1 000 °С для удаления остатков модели. После этого форма готова к заливке.

На рис. 5.16 показан процесс изготовления отливок способом выплавляемых моделей. Такой способ получения отливок дает возможность резко уменьшить обработку отливок резанием, а во многих случаях вовсе устранить последующую механическую обработку.

Литье по выплавляемым моделям пока является самым дорогим. Оно требует специального оборудования для изготовления модельного состава, запрессовки этого состава в пресс-формы, термической обработки полученных форм.

Этот способ литья чаще всего используют для получения отливок из стали или тугоплавких металлов, не поддающихся обработке резанием. Наиболее широкое применение способ нашел для отливки мелких, но сложных по конфигурации деталей.

Литье по выжигаемым (газифицируемым) моделям. Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) является одним из новейших способов производства отливок, появившихся в результате научно-технической революции во второй половине XX в. Достижения современной химии полимеров привели к созданию высокопористого материала – пенопласта. Пенопласт – это пористый полистирол. Он имеет удивительные свойства: легкий, очень хорошо поддается обработке и режется даже нагретой проволокой, быстро склеивается, легко загорается.

Из пенопласта стали изготовлять модели для литья. Легкость обработки позволила создавать сложные по конфигурации модели, тем более что их можно делать из отдельных частей, которые потом легко склеить.

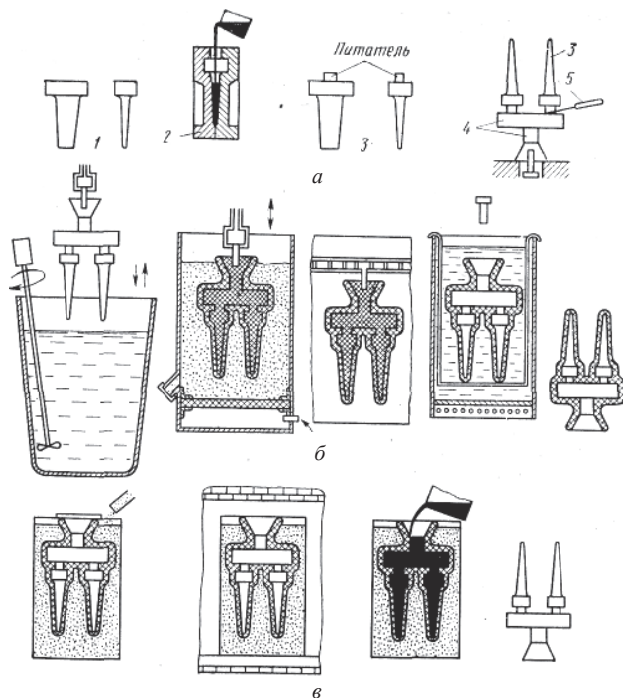


Рис. 5.16. Схема процесса изготовления отливок по выплавляемым моделям: а – изготовление модели; б – изготовление формы; в – заливка формы литейным сплавом; 1 – отливка; 2 – пресс-форма для модели; 3 – модель; 4 – модели с литниковой системой; 5 – паяльник

Но самое ценное заключается в том, что такие модели не нужно вынимать из литейной формы. Их не нужно и выплавлять. При заливке металла они просто сгорают (газифицируются)! Сгорая, высвобождают место для жидкого металла, который заполняет образовавшуюся пустоту, т. е. полость литейной формы. Такая технология решала важнейшую задачу литейного производства – повышение точности отливок до уровня литья по выплавляемым моделям при издержках производства литья в песчано-глинистые формы.

Основоположником ЛГМ был американский архитектор Ф. Шрорер, который в 1956 г. применил модели из пенополистирола для получения художественной отливки. В 1958 г. он получил патент США на свой способ литья. Промышленное применение ЛГМ-процесса началось только спустя четыре года после его изобретения.

Первая промышленная отливка массой 12 т была получена в Германии в 1962 г. В 1963 г. на Международной выставке в Дюссельдорфе экспонаты по ЛГМ-процессу были широко представлены различными фирмами. Быстрое распространение ЛГМ для производства единичных отливок из черных сплавов стало возможным благодаря явным преимуществам данного способа по сравнению с литьем по извлекаемым моделям. Главными из этих преимуществ являются: снижение трудоемкости и стоимости изготовления моделей, увеличение точности отливок и снижение их массы, уменьшение трудоемкости изготовления форм и значительное сокращение цикла изготовления литых заготовок, начиная с разработки технологии и заканчивая получением отливки.

Наибольшие успехи во внедрении ЛГМ в 1980-е гг. были достигнуты автомобильными фирмами. В 1988 г. в западных странах производство отливок ЛГМ осуществлялось более чем в 100 литейных цехах с месячным выпуском 400 т чугуна и 2 000 т алюминиевого литья. В 1990-е гг. ЛГМ находит широкое применение в Японии, Корее и Китае. Широкое внедрение ЛГМ в крупносерийном производстве стало возможным благодаря созданию высокопроизводительного автоматизированного оборудования и систем управления технологическим процессом на основе применения микропроцессорной техники и ЭВМ.

В СССР исследования ЛГМ были начаты в 1963 г. инженером А. Чудновским в Научно-исследовательском институте специальных способов литья (г. Одесса), и в том же году ему было выдано авторское свидетельство на отечественный вариант ЛГМ. Промышленное применение данная технология получила уже в 1965 г. на Горьковском автомобильном заводе, где была получена первая партия отливок (227 наименований, общая масса около 100 т). В первом полугодии 1966 г. на этом же заводе было произведено 600 отливок массой от 18 до 3 500 кг (общая масса более 420 т). В середине 1960-х гг. активизируются работы по исследованию технологии ЛГМ в различных научно-исследовательских институтах и в вузах. В первую очередь надо отметить следующие организации, в которых научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы получили приоритетное развитие: НИИСЛ (г. Одесса), МВТУ им. Баумана, ВНИИЛитмаш, Московский автомеханический институт (МАМИ), Московский авиационно-технологический институт (МАТИ), ЦНИИТМаш (г. Москва), ВПКТИСтройдормаш (г. Киев), Харьковский филиал ВНИИЛитмаш. В 1965 г. при Научно-техническом обществе машиностроительной промышленности был создан Комитет

литься по газифицируемым моделям под руководством доктора технических наук, профессора Г. Ф. Баландина (1926–1999), который существует и по настоящее время в составе Российской ассоциации литейщиков.

В конце 1980-х и начале 1990-х гг. разрабатываются крупные проекты цехов серийного производства отливок ЛГМ для ряда заводов России, Украины, однако в связи с резким спадом производства в результате распада СССР работы по реализации данных проектов были свернуты. В начале 2000-х гг. наметилась тенденция роста заинтересованности промышленных предприятий и фирм к технологии ЛГМ, что объясняется возросшими требованиями к качеству отливок со стороны потребителей, а также гибкостью данной технологии при сравнительно низких капитальных затратах на ее внедрение.

Литье в оболочковые формы. Отливки сравнительно высокой точности можно получить еще одним способом.

Оболочковые формы изготавливают из формовочной смеси, которая состоит из кварцевого песка и терморезактивной смолы (6–7 %) в виде порошка. Связующие материалы обладают способностью при нагревании до 100 °С оплавляться; когда же температура нагрева переходит за 160 °С, форма необратимо затвердевает.

На рис. 5.17 показана схема процесса получения оболочковой формы. На бункере 2 (рис. 5.17, а) с формовочной смесью закрепляют нагретую до 200–250 °С металлическую модельную плиту 1. После этого бункер с плитой опрокидывают на 180°, формовочная смесь 3 покрывает горячую модельную плиту (рис. 5.17, б), и начинает образовываться корочка из песка и смолы, перешедшей в жидкое состояние в пограничном с модельной плитой слое. Далее производится обратный поворот бункера на 180° (рис. 5.17, в) для удаления с него модельной плиты, на которой уже успела образоваться оболочковая полуформа 4. Оболочку помещают в электрическую печь и нагревают до 300–350 °С в течение 1 минуты, терморезактивная смола переходит в твердое необратимое состояние. С плиты удаляют готовую оболочковую полуформу (рис. 5.17, г). Две половинки оболочек 5 соединяют скобами или склеивают. Полученную оболочковую форму заливают в вертикальном или горизонтальном положении через литниковую систему. Оболочковая форма из песчано-смоляной смеси после заливки металла легко разрушается, освобождая отливки.

Для крупных отливок, ввиду опасности прорыва металла во время заливки, оболочковые формы помещают в опоку и засыпают чугунной дробью.

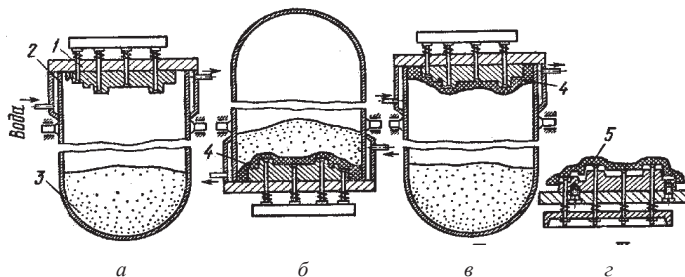


Рис. 5.17. Последовательность изготовления оболочковых форм

С применением оболочковых форм резко уменьшается количество используемой формовочной смеси. Отливки получаются с достаточно чистой поверхностью и повышенной точностью размеров.

В оболочковых формах изготавливают отливки массой до 100 кг с размерами сторон до 800 мм.

Недостаток этого способа – высокая стоимость и дефицитность термореактивной смолы, а также значительная газотворная способность, ведущая к загазованности атмосферы в цехах.

Способ литья в оболочковые формы изобрел в 1940-х гг. И. Кронинг (Германия), поэтому технология литья в оболочковые формы получила за рубежом название «кронинг-процесс», или С-процесс. Промышленное производство литейных форм по новой технологии началось в 1950 г. в США, а затем и по всему миру. В СССР уже в конце 60-х гг. на Горьковском и других автозаводах применяли эту технологию.

5.4. Изобретение и совершенствование электрической сварки

Николай Николаевич Бенардос. Русский изобретатель Николай Николаевич Бенардос начал свою деятельность в области прикладной электротехники и электротехнологии с занятия дугowymi источниками света и устройствами для их питания – аккумуляторами. Ему принадлежит приоритет в создании в 1881 г. первого реального способа дуговой сварки. Новый способ родился на стыке многих направлений развития техники. Прежде всего следует отметить, что в его основе лежали достижения электротехники и металловедения. Конечно, родиной электросварки могла стать любая страна: ряд ученых и изобретателей



Николай Николаевич
Бенардос
(1842–1905)

Великобритании, Франции, Германии предлагали различные идеи «совмещения дуги и металла». Однако то, что именно в России был создан новый технологический процесс и именно русскому изобретателю удалось решить электротехнические, металлургические, конструкторские и другие проблемы электросварки, не было случайностью.

Кроме серьезных научных исследований и крупных инженерно-технических разработок в области электричества (трудами таких русских исследователей, как М. О. Доливо-Добровольский, Б. С. Якоби, Э. Х. Ленц и др.), в России были накоплены глубокие и точные знания свойств металлов, умение управлять процессами, влияющими на качество металла. Научные основы металлургии качественных сталей заложил еще крупнейший металлург первой половины XIX в. П. П. Аносов, а в 70-х гг. другой русский металлург, Д. К. Чернов, разработал учение о кристаллическом строении металла, характере процессов, протекающих в период затвердевания стального слитка. Таким образом, в России были все объективные предпосылки для возникновения новых технологических процессов обработки металлов. Причем будущий изобретатель электросварки металлов имел возможность ознакомиться с передовыми достижениями и освоить опыт обработки металлов на выставках, в собственных мастерских, на ряде заводов Москвы, Иваново-Вознесенска, Петербурга.

После обучения в Петровской земледельческой и лесной академии в Москве (ныне Российский аграрный университет им. К. А. Тимирязева) он построил механические мастерские и занялся воплощением своих изобретений, их испытанием и усовершенствованием. Большинство его первых работ относится к сельскохозяйственному производству, быту, средствам транспорта. Кажется, что изобретатель стремился улучшить все, с чем сталкивался в своих хозяйственных делах.

С 1870 по 1879 г. Бенардос разработал и осуществил несколько десятков изобретений. Диапазон их поразителен: железные бороны и почвоуглубители, скороварки и молотильные машины, паровые ножницы и пневматическая поливалка, пароходные колеса с поворотными лопастями и охотничьи лодки, замки и краны, турбины для гидроэлектростанций и пушка для метания канатов на терпящий бедствие пароход, летательные аппараты тяжелее воздуха и станки для обработки метал-

лов и дерева, пневматические вагонные тормоза и ветряной двигатель и многое, многое другое. Совершенствуя все, что попадало в его поле зрения, Бенардос находил оригинальные способы устранения недостатков привычных конструкций.

В процессе своей инженерной деятельности Бенардос сталкивался с необходимостью получать неразъемные соединения, поэтому в новом способе получения соединений у него была и личная потребность. Трудности, на которые натолкнулся изобретатель при изготовлении крупных металлоконструкций (парохода, огромного колеса и пр.), превзошли, пожалуй, те, что встречались в заводских условиях. У него не было больших нагревательных печей и паровых молотов, необходимых для кузнечной сварки, не было сложных приспособлений для клепки таких конструкций. Но зато в усадьбе стоял источник электрического тока – генератор, приводимый в движение паровым двигателем-локомотивом. В моду входило электрическое освещение, и Бенардос, конечно, не мог не интересоваться этим.

В дуге «свечи Яблочкова» электрическая энергия превращалась в свет и теплоту. Дуговое освещение стало реальностью. А теплота, так нужная Бенардосу, пропадала. Но как заставить дугу нагревать металл до кузнечного жара? И изобретатель пробует решить эту задачу.

Перевернутая «свеча Яблочкова» сразу перегорала – расплавлялась от перегрева неэлектропроводящая тугоплавкая перемычка между электродами. Если бы оставить один угольный электрод из двух, а второй полюс соединить с металлом? Но как регулировать дугу между ними? Как сдерживать нагрев после калия? Железная проволока, внесенная в дугу, мгновенно плавилась и окислялась, становилась бурым грязным дымом. Бенардос все же делает то, что как будто не сулило успеха, то, что впоследствии станет отличительной чертой его изобретения. Он подсоединяет один из полюсов генератора к железной пластине. Второй, естественно, соединен с угольным стержнем. Угольный электрод изобретатель берет в руку и замыкает на металл. Он отводит электрод, загорается дуга и... ничего хорошего не происходит. Как всегда, небольшое ярко-белое пламя. Бурый дым. Поверхность металла под дугой становится рваной, чешуйчатой, а за дугой и рядом покрывается оксидным налетом. Но хуже всего то, что зона плавления очень мала, металл даже около дуги не раскаляется. Дуга слишком слаба для такой массы металла и слишком жестка, концентрированна. А главное, даже тот слабый ток, который проходит через дугу, перегревает генератор за несколько секунд.

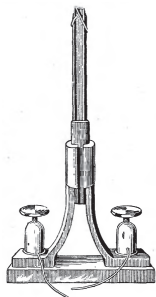


Рис. 5.18. Электрическая свеча П. Н. Яблочкова

Снова и снова пробует Бенардос установить контакт дуги с железом. Уже меньше дыма и ржавого налета, уже вырисовывается конструкция специального держателя электрода. Но каждый раз подводит генератор. Он слишком слаб. На покупку более мощного нет средств, а сделать генератор самому обойдется еще дороже. Паровик тоже нужно будет поменять. И кто знает, выдержит ли самый мощный генератор. Ведь его медные провода не должны нагреваться от того же самого тока, от которого должно раскаляться железо.

Рядом с Лухом, в Кинешме, был завод, где, кроме всего прочего, изготавливали аккумуляторы. А на заводе работал (и с 1878 г. стал его владельцем) товарищ Бенардоса по Московскому физическому кружку русский электротехник А. И. Бюксенмейстер. Каталоги и наградные списки российских выставок 1882 г. и последующих свидетельствуют, что изделия завода – угли, аккумуляторы, переключатели, держатели электродов – отличались высоким качеством и не раз отмечались медалями.

Это было именно то, что нужно для дуговой сварки. И не только для нее. Бенардос смог получить с завода все «сварочное» оборудование, кроме мощного источника тока. Но тут он нашел первое выдающееся решение на пути создания нового способа сварки. Между генератором и дугой он поставил батарею аккумуляторов. Генератор работал непрерывно, заряжая аккумуляторы, и в момент контакта дуги с металлом энергия подавалась в дугу в большом количестве, увеличивая ее мощность. Соответственно увеличилась и зона нагрева, быстрее раскалялся и даже плавился под дугой металл.

«Электрогефест» – так назвал свое изобретение Бенардос в честь бога, в которого верили его далекие предки (Бенардос был выходцем из Греции). Несколько позже Бенардос независимо от изобретателей на Западе разработал технологию точечной контактной электросварки – второго из самых распространенных в настоящее время способов сварки металлов.

Николай Гаврилович Славянов. Следующий шаг, после Н. Н. Бенардоса, для совершенствования дуговой электросварки сделал Николай Гаврилович Славянов.

Еще в Горном институте Славянов выделялся среди студентов необычайными способностями и настойчивостью. Одновременно с металлургией он осваивал новую отрасль знаний – электротехнику – и в своей практической деятельности неизменно стремился улучшить технологию изготовления машин на основе применения электричества.

Пермские заводы успешно справлялись с изготовлением артиллерийских орудий и снарядов, мощных паровых машин и котлов, сложных механизмов. Использование электричества для освещения, как и применение многих других достижений науки и техники, было естественным для государственных оружейных предприятий России. Работали здесь высококвалифицированные инженеры, техники, рабочие. Сюда и был назначен в 1883 г. управляющим орудийных и механических фабрик Пермских пушечных заводов в Мотовилихе Н. Г. Славянов.

Славянов критически оценил изобретение Бенардоса и внес в него существенные усовершенствования, касающиеся в первую очередь металлургии сварки.

На Пермских заводах с 70-х гг. XIX столетия начали выплавку стали в мартеновских печах. И хотя специалисты заводов тщательно готовили шихту, обращая особое внимание на чистоту компонентов, соблюдали все режимы и рекомендации, случалось, что новая сталь содержала больше вредных примесей, чем старая уральская сталь, полученная на древесном угле. Сварка новых сталей способом Бенардоса не всегда получалась удачной, потому что в шов попадали оксидные включения, в нем скапливались сера и фосфор.

Славянов заменил неплавящийся угольный электрод металлическим плавящимся электродом-стержнем, сходным по химическому составу со свариваемым изделием. И если Бенардос, для того чтобы заполнить зазор между свариваемыми листами, сделать усиленный шов или наплавить другой металл в зону сварки, отдельно вводил присадочный пруток, то у Славянова электрод, подключенный к источнику тока, стал служить одновременно и присадочным материалом. Но самое главное то, что сварочная ванна была защищена слоем шлака – расплавленного



Николай Гаврилович
Славянов
(1854–1897)

металлургического флюса. Швы накладывали отдельными участками, а для того чтобы шлак и расплавленный металл не растекались, зону сварки ограничивали барьером из формовочной земли.

Славянов разработал специальный сварочный генератор на 1000 А, заменивший аккумуляторную батарею Бенардоса (рис. 5.19).

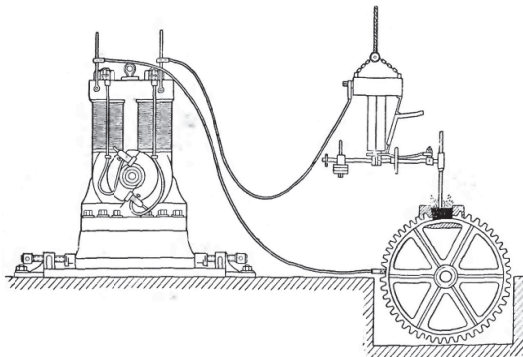


Рис. 5.19. Плавильник Н. Г. Славянова

К концу 1880-х гг. в европейских странах и США быстрыми темпами продолжают развиваться машиностроение, судостроение, энергетика. Постоянно растет масса стальных отливок. Все дороже обходится брак: трещины, раковины, поры. Пропадает работа, идут на переплав массивные изделия. Это происходит повсюду, в том числе и в Перми, и Славянов начинает применять свой новый способ для исправления дефектов литья, ремонта деталей паровозов, паровых машин, зубчатых колес, артиллерийских орудий.

В октябре 1888 г. на Мотовилихинском заводе в Перми Славянов продемонстрировал свой способ сварки группе металлургов и электротехников из Петербурга. В 1890 г. он подал заявку, а 13 августа 1891 г. получил русскую привилегию на изобретенный им метод электрической отливки металлов. Привилегия № 8748 была выдана на способ и аппараты для электрической отливки металлов, в основе, как и в способе «электрогефест», лежала электрическая дуга.

Только за три с половиной года на Мотовилихинском заводе было выполнено более 1 600 работ по сварке и наплавке ответственных изделий.

В 1891 г. Н. Г. Славянов запатентовал свое изобретение во Франции, Германии, Великобритании, Австро-Венгрии, Бельгии, а в 1897 г. –

в США. Изобретение Славянова «электрическая отливка металлов» имело ряд сходных черт с изобретением Бенардоса «электрогефест», но при более тщательном анализе основных элементов технологии и применяемой при этом аппаратуры можно было установить ряд существенных отличий.

Способ Славянова и устройство для его осуществления были сложнее первого «электрогефеста», но зато технические возможности расширились и качество соединения улучшилось. Западная пресса опубликовала выдержки из статьи Славянова и комментарии к статье, которую он написал для английского журнала «Journal of strap and steel Institute» в 1892 г. Интерес к новому способу со стороны промышленников и инженеров ведущих фирм возрастал. Однажды Славянов узнал, что в некоторых западных газетах высказывается мнение о невозможности применения его способа для сварки цветных металлов. И вот посетители Всемирной выставки в Чикаго в 1893 г. увидели удивительный экспонат из России – металлический двенадцатигранный стакан высотой 210 мм. Николай Гаврилович наварил на сталь один за другим электроды из бронзы, никеля, стали, чугуна, меди, особой колокольной бронзы, томпака, нейзильбера. Сделанный из этой многослойной заготовки пятикилограммовый стакан представлял сразу всю гамму технических металлов того времени. Почетный диплом и золотая медаль Всемирной выставки были достойной оценкой изобретения.

Серьезное внимание Славянов уделял механизации и автоматизации дуговой электросварки. Он изготовил и опробовал первый в мире сварочный полуавтомат («электроплавильник»), элементы которого использованы и в современных автоматических сварочных головках. Регулирование длины дуги в полуавтомате основывалось на использовании электромагнитного дифференциального реле, включенного в сварочную цепь, и рычажного механизма, который связывал перемещение сердечника реле с вертикальным перемещением электрода.

Обязательное автоматическое регулирование длины электрической дуги при использовании металлического электрода явилось, по мысли Славянова, важной технологической особенностью его способа сварки. Конечно, то исключительное внимание, которое Славянов придавал проблеме автоматического регулирования длины сварочной дуги, показывает его блестящую техническую прозорливость: еще в конце позапрошлого века он предвосхитил применение механизмов для регулирования длины электрической дуги, имеющих огромное значение и в современной технике автоматической сварки.

Автоматизация сварочных процессов. Сварка вытесняла клепку как в единичном, так и в массовом производстве. Объем ее применения непрерывно возрастал. Пока сварочных постов было мало, затраты в общей массе производственных расходов не были заметны. Но вот заводы, целые отрасли производства полностью перешли на сварку, и вдруг обнаружилось, что трудоемкость сварочных работ доминирует, что ручной труд малопроизводителен, а при массовом производстве ни зарплаты, ни специалистов не хватит. А к этому важному экономическому вопросу прибавился и технический – нестабильное качество сварных соединений, в значительной степени зависящее от квалификации рабочих и даже от их настроения.

Развитие сварочного производства подошло к очередной стадии – автоматизации основного технологического процесса электродуговой сварки с обязательным повышением скорости сварки и гарантией высокого качества шва. Необходимо было придумать аппарат, который обеспечивал бы подачу электрода (плавящегося или неплавящегося), поддерживая постоянной длину дуги, перемещение электрода (или изделия относительно электрода) по линии шва.

Как уже говорилось, решать эту проблему начали Бенардос и Славянов, потом за дело взялись отдельные изобретатели и коллективы. Поиск велся широким фронтом, предлагались и испытывались разнообразные конструкции аппаратов. Этим занимались преимущественно механики и электрики, от их работы зависели производительность и качество. Но не в меньшей степени возможности и «способности» разрабатываемой автоматической сварки обуславливались собственно технологией, способами защиты ванны, нагревания металла и др.

Сейчас, зная дальнейшие события в истории техники, глядя с высоты многолетнего бурного развития сварки, можно только удивляться, почему идея Славянова прикрывать сварочную ванну слоем флюса не привлекла внимания занимавшихся автоматизацией. Флюс не только оттеснял воздух от расплавленного металла, он участвовал в металлургических реакциях, и, умело подбирая и рассчитывая его состав, можно было сваривать любые или почти любые сплавы. Однако остроумная конструкция Славянова была слишком сложна для тех времен. И идея была отвергнута... вместе с флюсом.

Швед О. Кьельберг в 1906 г. изобрел покрытый электрод для ручной электродуговой сварки. До сих пор при ручной сварке используются электроды с покрытием, которое плавится вместе с металлом и образует защитную шлаковую ванну на поверхности шва, предохраняя его от

окисления (рис. 5.20). Изобретение Кьельберга, отличавшееся от других тем, что было предназначено для ручной сварки, и отлично выполнявшее свое назначение, стали приспособлять к механизированной подаче электрода.

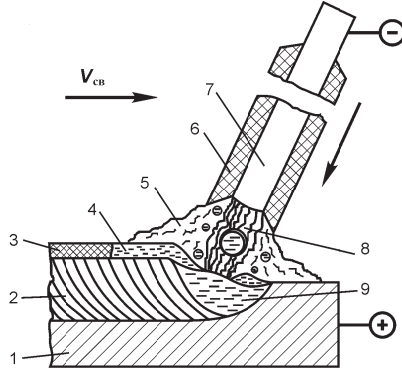


Рис. 5.20. Схема дуговой электросварки металлическим покрытым электродом: 1 – свариваемый металл; 2 – сварной шов (наплавленный металл); 3 – твердая шлаковая корка; 4 – жидкая шлаковая ванна; 5 – газовая защитная атмосфера; 6 – покрытие электрода; 7 – металлический стержень из сварочной проволоки; 8 – электрическая дуга; 9 – металлическая ванна

Автоматизация в сварочном производстве пошла по пути применения штучных электродов с толстым покрытием. В итоге именно фирма «Кьельберг» первой организовала пуск аппарата, в обойму которого «заряжалось» несколько десятков штучных электродов. Как только сгорал один, подавался следующий. Так удалось имитировать процесс ручной сварки в простейшем виде. Главным недостатком автоматов со штучными электродами оказались перерывы в процессе сварки в момент, когда дуга перебрасывалась со сгоревшего электрода на новый. Много времени занимала перезарядка обоймы электродов. Сама собой напрашивалась идея увеличить длину электрода, желательно до бесконечности. Но удлинить нельзя было ни на сантиметр.

Ограничения накладывал закон Джоуля – Ленца. Следует вспомнить, что штучный электрод имеет неэлектропроводящее покрытие и ток можно подвести только к оголенному концу электрода. Если стержень

жень будет чрезмерно длинным, то он перегреется, раскалится, покрытие отвалится. Кроме того, длинные стержни гнутся при транспортировке, а покрытие трескается и разрушается.

Длину электрода (теперь уже практически до бесконечности) увеличили те, кто использовал проволоку, намотанную на катушку и подающуюся электродвигателями (через систему шестерен и роликов).

В 1919 г. фирма «Дженерал электрик» изготовила первую автоматическую дуговую сварочную головку, в которой подача электродной проволоки осуществлялась роликами с электродвигателем. Через ролики же подводился ток к электродной проволоке. В основу регулирования была положена пропорциональная зависимость напряжения дуги от ее длины. Сигнал о падении напряжения на дуге поступал на электродвигатель, и, если электрод оплавлялся быстрее, чем подавался в зону сварки, вращение двигателя ускорялось. При уменьшении напряжения вращение замедлялось. При коротком замыкании, с которого начиналось горение дуги, электродвигатель сначала дергал электрод вверх (благодаря реле), а потом начинался нормальный режим работы.

В начале 20-х гг. автоматические головки для плавящегося электрода начали выпускать американские и европейские фирмы.

В 1924 г. в СССР мастер Одесских железнодорожных мастерских Д. А. Дульчевский разработал один из первых отечественных аппаратов для дуговой сварки с автоматической подачей электрода. В последующие годы ему удалось осуществить и автоматическое возбуждение дуги. Внедрение автоматов на вагоноремонтных заводах и в мастерских позволило повысить производительность дуговой наплавки железнодорожных колес в несколько раз.

Необходимо отметить, что как за рубежом, так и в СССР первые дуговые автоматы применяли все же в основном для наплавки. Громоздкие и тяжелые головки трудно было транспортировать, при наплавке изношенных поверхностей перемещения были ограничены, а при ремонте тел вращения (колес, валов и т. д.) головки совсем не двигались. В 20-х гг. именно успешное внедрение головок с различными системами защиты зоны сварки на восстановительной наплавке изнашивающихся деталей толкало исследователей на поиск новых решений проблемы механизации, повышения качества и производительности сварочных работ.

В 20-х гг. объем применения дуговой сварки с автоматической подачей электродной проволоки продолжал неизменно возрастать. Сваривали крупные изделия с протяженными швами (баки, бочки, трубы, фланцы с трубами), вели наплавку (бандажей колес, шеек валов), пере-

мещаая сварочные головки на специальных тележках. При сварке и наплавке коротких швов и изделий неправильной формы головки перемещали вручную. Постепенно была отработана оптимальная конструкция сварочного аппарата в виде тележки с отдельным электроприводом и размещенными на ее платформе сварочной головкой и катушкой с проволокой. По гибкому кабелю к аппарату подавался сварочный ток, а по дополнительным проводам осуществлялось управление электродвигателями. Однако в целом при работе сварочной головки выявлялись недостатки, затруднявшие нормальную эксплуатацию.

Так, в середине 30-х гг., несмотря на усилия всей мировой инженерной мысли, не были решены такие важнейшие задачи автоматизации дуговой сварки, как защита сварочной ванны и легирование металла шва при сварке электродной проволокой, сматывающейся с катушки. Дуга постоянного тока голой электродной проволоки очень чувствительна к магнитным полям, блуждает, и поэтому шов получается неровный, а провар – нестабильный. А главное – образуется незащищенная сварочная ванна. Как уже отмечалось, все эти проблемы решаются с помощью сварки короткими электродами, покрытыми слоем специальной обмазки. Но подвести сварочный ток через такое сплошное покрытие невозможно, а кроме того, покрытие было (и остается до сих пор) хрупким, а значит, сворачивать в моток и разворачивать покрытый электрод нельзя.

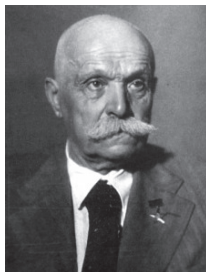
С конца 20-х и в течение 30-х гг. во многих странах, в том числе и в СССР, испытаны десятки остроумных конструкций проволок, сделаны многочисленные попытки осуществить непрерывную сварку проволокой с покрытием.

Например, на заводе «Электрик» инженером В. Е. Сахановичем разработаны трубчатые электроды с внутренним наполнением шихтой, сходные с конструкцией, предложенной в свое время Бенардосом.

За рубежом некоторые фирмы выпускали покрытую электродную проволоку, а для подвода тока обертывали ее тонкой стальной лентой (так называемая «бронированная» проволока). Во Франции Р. Саразен предложил запрессовывать шихту в канавки, пролегающие на поверхности проволоки параллельно ее оси.

Во второй половине 30-х гг. в Советском Союзе разработаны сварочные материалы и головки для автоматической сварки, при внедрении которых обнаруживались определенные преимущества перед ручной дуговой сваркой. О возможности и необходимости замены ручной сварки много говорилось на научных конференциях. В 1936 г. Наркомат тяжелой промышленности обязал несколько заводов страны создать

собственные базы по изготовлению автоматов и испытанию оборудования для автоматической сварки. Институт электросварки разработал проекты станков для сварки котлов (завод «Красный котельщик» в Таганроге), балок и колонн (завод «Азовсталь» в Мариуполе) и других ответственных изделий.



Евгений Оскарович
Патон
(1870–1953)

Евгений Оскарович Патон приступил к исследованиям процессов горения дуги при автоматической сварке голой проволокой еще в начале 30-х гг. в созданной им лаборатории сварки. Поскольку голая электродная проволока не дала удовлетворительных результатов, работа продолжалась в направлении поиска составов покрытий, способов их нанесения. В результате была создана электродная проволока с крестообразным поперечным сечением. Металлическая основа (заготовка) выглядела как стержень с ребрами, пространство между которыми и заполнялось шихтой (обмазкой).

Через металлическую поверхность четырех ребер такой проволоки осуществлялся контакт. Была изготовлена установка и разработана технология производства этой проволоки из обычной проволоки круглого сечения путем прокатки в горячем состоянии. Покрытие настолько прочно удерживалось на стержне, что легко допускало сворачивание проволоки в бухту и не повреждалось при подаче через ролики.

Ко времени создания крестообразной проволоки (1936 г.) в Институте электросварки были проведены исследования составов покрытий электродов для ручной дуговой сварки и разрабатывались методы расчета количества компонентов.

Это было как нельзя кстати. Дело в том, что в проволоке с крестообразным сечением для шихты можно было отвести не более 20 % площади поперечного сечения. Именно столько ее помещалось между ребрами. И несмотря на то, что относительной массы покрытия здесь было в несколько раз меньше, чем в штучных электродах, удалось получить состав с достаточным количеством газообразующих, стабилизирующих и легирующих компонентов.

В 1938 г. на заводе «Ленинская кузница» в Киеве был внедрен новый сварочный трактор конструкции Института электросварки.

Таким образом, к концу 1938 г. в СССР имелись предпосылки для внедрения автоматической сварки в производство таких ответственных конструкций, как вагоны, котлы, корпуса судов.

К началу 30-х гг. в других странах делаются попытки вносить защитные средства в зону сварки отдельно от электрода. В 1930 г. в США был выдан патент Б. С. Робинову, С. Е. Пейку и В. Е. Квиллену на способ сварки, при котором дуга засыпана флюсом. Он был применен для производства труб из стальных листов толщиной до 16 мм за один проход. Флюс непрерывно высыпался из бункера впереди электрода и, расплавляясь, образовывал надежную шлаковую и газовую защиту. Состав флюса не указывался.

Следующим крупным шагом стал способ автоматической дуговой сварки голым электродом под слоем гранулированного флюса, предложенный в 1935 г. сотрудниками американской фирмы «Линде». Способ был назван «Юнионмелт» по наименованию корпорации («Юнион Карбайд энд Карбон»), куда входила фирма «Линде». Способом «Юнионмелт» сваривали стальные листы толщиной до нескольких десятков миллиметров со скоростью до 10 м/ч. Но самое главное преимущество заключалось не в производительности, а в высоком качестве металла шва. Точный состав и способ приготовления флюса не расшифровывались, но, тем не менее, было очевидно, что он содержал компоненты, из которых в зоне горения дуги во время плавления и испарения при высокой температуре образовывались защитные газы, выделялись элементы с низким потенциалом ионизации и элементы, раскисляющие железо и легирующие металл шва. В патентном описании сообщалось, что флюс состоит из веществ минерального происхождения, сплавленных наподобие стекла и раздробленных до гранул определенного размера и что он должен быть свободен от несвязанного оксида железа. Указывались комбинации различных веществ, которые можно рекомендовать для сплавления.

Для сварки под флюсом фирмой «Линде» был разработан автомат, отличающийся от других тем, что здесь имелось устройство для подсыпки флюса в зону сварки. К концу 30-х гг. способом «Юнионмелт» уже сваривали такие ответственные конструкции, как рамы и кузова электровозов, корпуса барж и сухогрузов, станины различных машин, сосуда, работающие под давлением. В 1938 г. в МВТУ им. Н. Э. Баумана разработана система подачи в зону сварки флюса из бункера, через который проходил голый электрод. Такая конструкция позволяла легко превратить существующие сварочные головки в аппараты для сварки под флюсом. Надежную подачу флюса обеспечивал специальный вибрирующий лоток. С. Т. Назаров и А. И. Чистяков предложили использовать в качестве флюса сухую смесь, состав которой совпадал

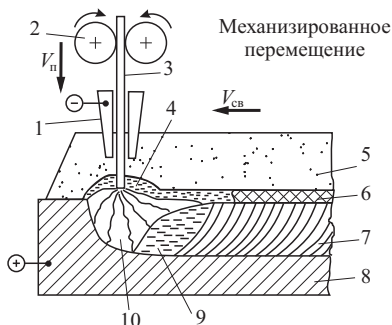
с составом покрытий электродов для ручной сварки. Однако порошок раздувался факелом дуги, и защита оказалась неудовлетворительной. Выход из затруднительного положения нашел К. К. Хренов. Он замешал сухие тонкоизмолотые и перемешанные компоненты на водном растворе жидкого стекла (силиката натрия). Массу, подобно тому как делают карамели, формировали, сушили, измельчали и просеивали, получая крупку определенной зернистости (0,5–2 мм). При сварке неожиданно обнаружилось, что участок электродной проволоки между токоподводящим мундштуком и дугой разогревается и электрод, проходя через бункер, подплавляет флюс. Флюс прилипал к проволоке, образуя дополнительную защиту. Исследованиями были установлены оптимальные размеры зерен, необходимый слой флюса над сварочной ванной, состав покрытия и другие параметры материала и технологии сварки, обеспечивающие наилучшее качество металла шва. К началу 1939 г. аппаратура и способ автоматической сварки с керамическим флюсом прошел все лабораторные испытания и был предложен для апробирования в заводских условиях. Однако сотрудники МВТУ им. Н. Э. Баумана не нашли заинтересованных предприятий и не провели промышленных испытаний. Внедрение способа не состоялось.

В это время в Институте электросварки АН УССР Е. О. Патон создал специальную бригаду во главе с В. И. Дятловым и поставил задачу разработать гранулированный флюс для сварки сталей угольным и металлическим электродами и технологию его производства. В короткое время молодой ученый провел многочисленные и разнообразные эксперименты, для большинства из которых придумал оригинальную методику, ставшую впоследствии классической и использованную сотнями ученых. Он сумел понять характер металлургических реакций в сварочной ванне, их отличие от большой металлургии и применить закон парциального давления, открытый американским ученым Дж. У. Гиббсом, для расчета процессов взаимодействия газов и паров в зоне сварки. В послевоенные годы им и рядом других ученых была создана стройная наука, названная металлургией сварки. Дугу удалось примирить как с металлом, так и с флюсом, причем использовать флюс для получения не только высококачественного шва, но и, по сути дела, сплавов с заранее рассчитанным составом. Металл электродной проволоки, пройдя через очистительное горнило расплавленного флюса, облагораживался, получал необходимые элементы и освобождался от вредных примесей (рис. 5.21).

Много лет спустя Дятлов вспоминал, что эксперименты начались с бутылочного стекла, которое ученые дробили и просеивали. Кусоч-

ки стекла – гранулы размером в поперечнике 1–4 мм – засыпали в зону сварки. Разумеется, о высоком качестве металла говорить еще было рано, но уже первыми опытами удалось показать принципиальную возможность защиты ванны такими флюсами.

Рис. 5.21. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом: 1 – токопровод; 2 – механизм подачи электродной проволоки; 3 – электродная проволока; 4 – жидкий шлак; 5 – гранулированный флюс; 6 – шлаковая корка; 7 – сварной шов; 8 – свариваемый металл; 9 – металлическая ванна жидкого металла; 10 – сварочная дуга



От флюса ожидали многого. Он должен был не только прикрыть жидкий металл ванны от воздуха, но и ввести в строго определенном количестве дополнительные легирующие элементы в металл шва (при сварке сталей – кремний, марганец), связать в шлаки вредные примеси (серу, фосфор). Флюс должен быстро и активно взаимодействовать с жидким металлом ванны и каплями электродного металла, но не должен ни в коем случае застревать в ванне и всплывать на ее поверхность, как только произойдут металлургические реакции и сам флюс превратится в шлак. Шлак же после остывания должен легко отделяться от шва.

В шихту, из которой выплавляли флюсы, вошли минералы с различными элементами (мел, рутил, плавиковый шпат, мрамор, железная руда и др.). При плавлении в печах образовывались новые соединения, именно такие, какие нужны для быстрого протекания металлургических реакций в ванне. Расплавленную шихту после соответствующей выдержки в печи выливали в холодную воду. Остывшие куски флюса дробили, просеивали, сушили. Эта сложная технология изготовления флюса оправдывала себя тем, что обеспечивала высокое и, главное, стабильное качество металла шва, разумеется, при соответствующем составе шихты и соблюдении всех условий изготовления флюса.

В 1940 г. Дятловым с группой был создан специальный флюс для сварки плавящимся электродом низкоуглеродистых и углеродистых сталей, вошедший в историю сварки под индексом АН-1 (в честь Академии наук).

Большой положительный опыт исследовательской и конструкторской работы коллектива, возглавляемого Е. О. Патоном, дал результаты, исключительно важные для судьбы дуговой сварки. Успеху способствовали правильные взгляды на процесс сварки как на металлургический процесс. Пригодились хорошие знания нужд и возможностей отраслей машиностроительной промышленности. В мастерских института и на заводе «Автомат» был организован выпуск сварочных головок А-66. В стекловаренной печи на заводе «Пролетарий» в Донбассе начали изготавливать флюс.

25–26 июня 1940 г. в Институте электросварки состоялась научно-практическая конференция, и представители 32 заводов страны наглядно убедились в достоинствах нового способа сварки. Два стальных листа толщиной 13 мм были сварены за один проход со скоростью 30 м/ч – в 11 раз быстрее, чем выполняли такое соединение ручники, и в 6 раз быстрее, чем при автоматической сварке покрытым электродом.

Впоследствии были непростые годы Великой Отечественной войны и эвакуации, когда на заводе в Нижнем Тагиле были усовершенствованы технологии сварки, сварочные агрегаты и найдены новые флюсы. Именно технология автоматической сварки под флюсом обеспечила превосходство советской промышленности в части производства танков над промышленностью фашистской Германии, где до конца войны так и не смогли освоить технологию автоматической дуговой сварки танков. В послевоенные годы, во второй половине XX в., технология автоматической сварки под флюсом непрерывно совершенствовалась. Появились другие автоматизированные способы сварки электрической дугой, сварка в защитном газе и пр. Сейчас различные виды автоматической дуговой сварки играют значительную роль при получении сварных неразъемных соединений в самых разных отраслях промышленности.

Контактная сварка. Слава изобретателя стыковой контактной сварки закрепилась за американским изобретателем Эльхью Томсоном (1853–1937), автором 692 изобретений.

В 1870 г., когда ему было только 17 лет, он начал преподавать химию и механику в Центральной высшей школе в Филадельфии, а через несколько лет уже читал лекции во Франклиновском институте. В феврале 1877 г. во время одной из таких лекций Томсон, как обычно, демонстрировал зарядку конденсатора (лейденской банки) от искровой катушки. Неожиданно у него мелькнула мысль: что случится, если заряд пойдет обратно при разряде конденсатора на катушку? В его лабораторной установке вторичная обмотка катушки была сделана из

тонкой проволоки, а первичная – из толстой. Томсон скрутил между собой концы толстого провода, а вторичную тонкую обмотку подключил под напряжение. Разряд тока через тонкую обмотку вызвал ток большой силы в первичной обмотке, и скрученные концы сплывались. Именно там было наибольшее электрическое сопротивление и выделилось наибольшее количество теплоты.

В то время Томсон был увлечен созданием источников питания дуговых ламп и в 1880 г. совместно с другим преподавателем Центральной высшей школы Э. Дж. Хаустоном образовал фирму по производству оборудования для электрического освещения. У Томсона появились все условия для продолжения разработки новой технологии. В 1884 г. он сконструировал мощный трансформатор и специальные клещи-тиски для зажима брусков, которые должны быть сварены, а в 1886 г. на его имя было выдано два первых патента на стыковую контактную сварку (сопротивлением).

В течение короткого времени Томсон и его сотрудники получили около 150 патентов, относящихся к контактной сварке (гибкий токоподвод, износостойкие токоподводящие зажимы, минимальные переходные электрические сопротивления и др.).

В 1889 г. при слиянии фирм «Томсон – Хаустон» и «Эдисон Джeneral электрик» образовалась фирма «Дженерал электрик», которая в будущем сыграет заметную роль в создании новых способов сварки. Сотрудник Томсона Чарльз Коффин становится ее первым президентом, в то время как Томсон числится просто электриком, хотя и создает здесь серьезные электрические проекты. А в 1892 г. Томсон основал собственную фирму «Томсон электрик уэлдинг» и начал выпускать оборудование для стыковой контактной сварки. В том же году способом Томсона, правда, другой фирмой – «Джонсон» – впервые в мире были сварены железнодорожные рельсы. Через несколько лет таким способом удлиняли трамвайные рельсы во многих городах США (рис. 5.22). Кроме этого, в первое десятилетие стыковой контактной сваркой соединяли только неотчетственные детали.

Одновременно со способом Томсона другой способ контактной сварки – точечную контактную сварку – изобрел Н. Н. Бенардос. Пока не известна история создания этого изобретения, но германский патент № 46776 неопровержимо свидетельствует о том, что еще до 1887 г. изобретатель «электрогефеста» произвел на свет серьезного конкурента своему любимому детищу. Он придумал подвести ток к двум наложенным друг на друга стальным пластинам с помощью клещей, в которые

вставил угольные электроды. Ток проходил через электроды, между которыми были зажаты пластины, и выделившейся теплоты было достаточно для образования сварной точки. Получалось соединение, подобное заклепочному, только без выступающих головок.

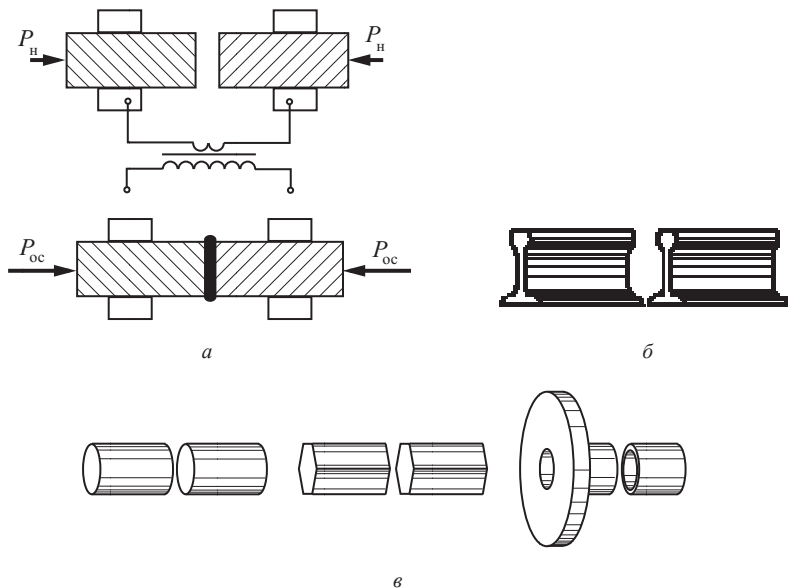


Рис. 5.22. Стыковая контактная сварка: *а* – стадии контактной сварки сопротивлением; *б* – типы сварных соединений сварки оплавлением; *в* – типы сварных соединений сварки сопротивлением

Достоверно не установлено, где и в каком объеме применялась в первые годы своего существования точечная сварка, но в наши дни с этим способом можно встретиться чаще, чем с другими способами получения соединений. Таким способом приварены ручки к кастрюлям, сковородкам, детали люстр и фурнитура мебели, многие детали автомобилей... Разумеется, это не основная область применения способа, но тогда, в конце XIX в., после того как немецкий изобретатель О. Кляйншмидт заменил угольные электроды медными, точечная контактная сварка обеспечила рост производства металлической посуды (рис. 5.23). Кляйншмидт, продолжая совершенствовать это изобретение, улучшил токоподвод, усилил механическое давление электродов на металл.

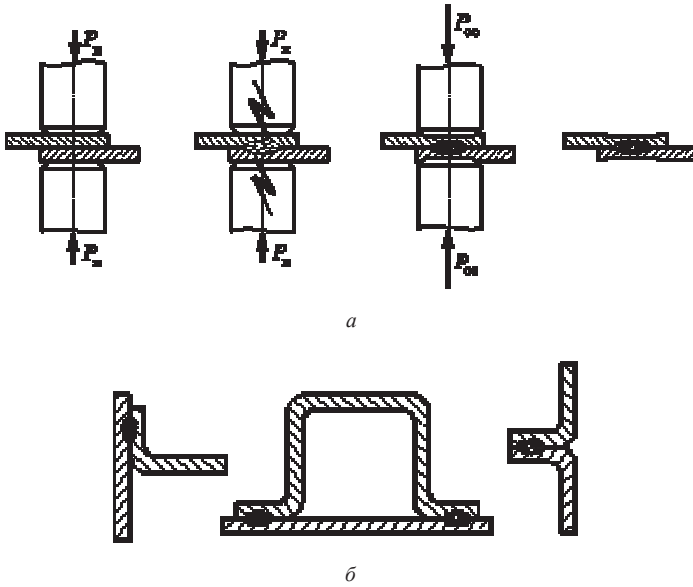


Рис. 5.23. Точечная контактная сварка: *а* – схема и стадии сварки; *б* – типы сварных соединений

Как уже было сказано, контактная сварка была применена фирмой «Джонсон» в 1892 г. для сварки рельсов. Через пять лет фирма «Лорейн стил» (правопреемник фирмы «Джонсон») улучшила процесс и аппаратуру и начала распространять свое оборудование. К 1910 г. почти во всех городах США, где имелись трамваи, можно было увидеть большой трансформатор с подвижными консолями, на концах которых располагались электроды. На конец одного из рельсов накладывали с двух сторон стальные пластины, прижимали их электродами и, выдержав под током до белого каления, сдавливали. Таким образом пластины оказывались приваренными к одному рельсу. Затем между торчащими концами пластин заводили другой рельс и приваривали их таким же путем. Для борьбы с окалиной между свариваемыми поверхностями засыпали песок или мраморную крошку. Сварочная установка размещалась на автомобиле. Кроме трансформатора, в комплект входил подъемный кран, станок для зачистки грата (остатка металла, выдавленного из шва). Еще на одном автомобиле располагался мотор-генератор.

В первом десятилетии XX в. контактная сварка нашла применение в США для приварки высокоуглеродистых режущих пластинок к резцам, для изготовления звеньев цепей, колес автомобилей и сельскохозяйственных машин. Контактная сварка завоевывала позиции в производстве двигателей и оборудования для химической промышленности, использовалась для соединения труб из стали и никеля. Как видно из этого перечисления, стыковой контактной сварке уже доверяли участвовать в создании ответственных изделий, работавших под нагрузкой и при повышенных температурах.

Точечная контактная сварка, созданная Бенардосом, Коффином и Кляйншмидтом, в первые годы своего существования использовалась для приварки ручек к кастрюлям и сковородам. Это, казалось бы, пустяковое дело убедительно показало, что точечная сварка намного производительней клепки и что электросварка, в принципе, пригодна для соединения изделий из алюминия. Вскоре этот способ уже использовали для сварки стальной обшивки вагонов.

5.5. Металлообрабатывающая отрасль

Возрастающее значение машин в различных отраслях производства вызывало интенсивное развитие станкостроения. Характерными чертами развития машиностроения в этот период являются переход от производства универсальных станков к узкоспециальным и переход к индивидуальному электроприводу. Развитие машиностроения в конце XIX и начале XX в. шло под знаком повышения качества машин и их рабочей скорости. Увеличение скорости резания металла достигалось переходом от резцов из углеродистой стали к резцам из легированной стали, а затем к резцам из особых сверхтвердых сплавов.

Развитие станкостроения. Поскольку станки есть основа производства машин машинами, то возрастающее значение машин в различных отраслях производства вызвало интенсивное развитие собственно машиностроения – станкостроения. Назначением металлорежущего станка является обработка заготовки металла с целью получения изделия определенных геометрических размеров, формы и качества.

С укрупнением предприятий возникает более узкая специализация металлообрабатывающих станков. На узкоспециализированных станках обрабатывалась одна деталь или выполнялась только одна производственная операция. В этом сужении функций станка были заложены

ны неограниченные возможности как для массового выпуска продукции, так и для автоматизации самого процесса производства.

В станкостроении конца XIX в. господствовали пять основных типов станков: токарные, применявшиеся для обработки наружных и внутренних поверхностей тел вращения (цилиндр, конус, сфера); строгальные (и долбежные), применявшиеся для обработки плоскостей изделий; сверлильные, предназначавшиеся для сверлений и обработки отверстий, а также для расточки, нарезки резьбы; фрезерные, употреблявшиеся для обработки особенно точных деталей, а также для фасонной обточки и нарезания резьбы; и шлифовальные станки, обрабатывавшие детали самой разнообразной формы абразивными материалами и инструментами.

С 70-х гг. XIX в. все эти типы станков развиваются в сторону более узкой дифференциации и специализации. В этот период начинают появляться специальные станки, выполняющие одну определенную операцию. От каждого основного вида станка, точно ветви от ствола дерева, выросли и развились новые, родственные виды станков. В середине XIX в., например, на токарном станке обрабатывали цилиндрические детали и снаружи, и внутри. На этом же станке нарезали резьбу и обрабатывали небольшие торцы деталей. С 70-х гг. XIX в. от этого универсального токарного станка отпочковался станок для растачивания длинных цилиндрических и полых изделий (орудийных стволов и гребных валов). Затем был создан специальный станок для точной расточки внутренних поверхностей, названный горизонтально-расточным. Почти одновременно с ним был сконструирован и лобовой токарный станок для обработки больших плоскостей. Для изделий с тяжелыми громоздкими плоскостями был изобретен карусельно-токарный станок, приспособленный для обработки больших плоскостей.

Появилось много ответвлений и у других основных станков. Наряду с простыми шлифовальными станками были сконструированы круглошлифовальные станки для наружного шлифования, для внутреннего шлифования и т. д. Фрезерный станок, являющийся наиболее универсальным из всех станков предыдущей эпохи, также стал насчитывать целый ряд специализированных видов.

В машиностроении этого времени разработка способов резания металлов вообще занимает большое место. Происходит более резкая дифференциация режущих инструментов и режущих деталей станков. Появились так называемые резьбовые фрезы, фасонные резцы, разнообразные зубчатые инструменты, червячные фрезы и т. д.

Механический суппорт, прочно вошедший в конструкцию всех станков, тоже получил дальнейшее развитие. Движение суппорта было автоматизировано. Возникли станки-автоматы и полуавтоматы, у которых подвод режущего инструмента в рабочее положение, движение подачи инструмента и отвод его после работы в исходное положение совершались автоматически, без помощи рук человека (рис. 5.24).

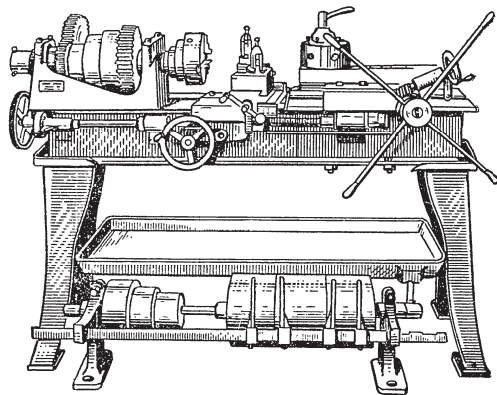


Рис. 5.24. Токарный станок конца XIX в.

Наконец, изменился сам материал, из которого изготовлялись станки. Начали употребляться стали более высоких марок. На режущий инструмент шла теперь так называемая инструментальная сталь разнообразных сортов. Она не теряла своей твердости даже при нагреве до красного каления, т. е. до температуры $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для оценки развития машиностроительной промышленности показателем не столько громадный рост количества выпускаемых ежегодно разнообразных машин, сколько качественные изменения машин для производства машин, т. е. станков. Причина этих изменений – концентрация производства. С энергетической точки зрения вызванные ею изменения состоят в постепенном и все ускоряющемся переходе к индивидуальному электроприводу станков. С технологической точки зрения изменения в станочном парке проходили от универсальных станков к специальным, к появлению автоматических станков. Принятая классификация основных типов станков (токарных, строгальных, сверлильных) базировалась на геометрической форме обрабатываемых поверхностей (тело вращения, плоскость, цилиндр). На мелких предприятиях

с небольшим объемом выпускаемой продукции перечисленные типы станков удовлетворяли потребности производства.

С укрупнением предприятий и с началом выпуска больших серий одинаковых деталей возникает специализация станков. С дальнейшим укреплением и специализацией целых предприятий (турбинный завод, автомобильный завод, завод сельскохозяйственных машин и т. д.), увеличением количества одинаковых единиц выпускаемой продукции большое количество станков становится узкоспециальным, способным обрабатывать одну только деталь или выполнять одну только операцию. В этом сужении функций станка заложена широкая возможность автоматизации и перехода на поточное производство.

Вторая линия развития станочного парка – увеличение «объема снимаемой стружки», что достигается двумя путями: увеличением мощности станков, а следовательно, и сечения снимаемой стружки и увеличением скорости резания. Возрастание скорости резания осуществлялось при помощи резцов из легированной стали и из особых сверхтвердых сплавов.

Машиностроение и металлообработка в течение всего предшествующего периода развивались на основе данных, которые накапливались в процессе практической работы. Так, например, повышение режимов резания, вызванное применением новых инструментальных материалов, привело к полной смене станочного парка, так как нагрузки, возникавшие при работе на таких режимах, в станках старой конструкции приводили к выходу их из строя.

Таким образом, к началу XX в. многие металлорежущие станки становятся узкоспециальными, способными обрабатывать только одну деталь или выполнять только одну механическую операцию.

В результате специализации станкостроения была достигнута небывалая до тех пор точность обработки деталей, доходившая теперь до десятой доли миллиметра. Благодаря этому стало возможным производство сложнейших машин, механизмов, приборов и инструментов. Кроме того, узкая специализация во много раз ускорила сам процесс изготовления деталей и, следовательно, приводила к колоссальному увеличению выпускаемой продукции. В начале XX в. машиностроение стало переходить к массовому производству изделий.

Однако постепенно стало более очевидным, что без подведения научной базы под процессы металлообработки и без разработки теории машин и механизмов дальнейший прогресс в этой области будет затруднен. В трудах Ф. Рело, Ф. Редтенбахера и др. были предло-

жены первые классификации механизмов и сделаны первые попытки разработки теории машин. Профессор Николай Павлович Петров создал гидродинамическую теорию смазки. До Петрова не было трудов, посвященных трению тел при смазке. В 1883 г. была опубликована его работа «Трение в машинах и влияние на него смазывающей жидкости», удостоенная Академией наук Ломоносовской премии. В первой части этой работы Петров установил основы гидродинамики смазывающего слоя жидкости. Во второй части своего труда Петров общие законы гидродинамики приложил к практическим задачам смазки трущихся частей в машинах. Эти же практические задачи привели Петрова к необходимости обширных экспериментальных исследований смазочных веществ. В результате были определены коэффициенты внутреннего трения многих смазочных материалов, установлен характер зависимости внутреннего трения в них от температуры, положено начало практической вискозиметрии.



Николай Павлович
Петров
(1883–1920)

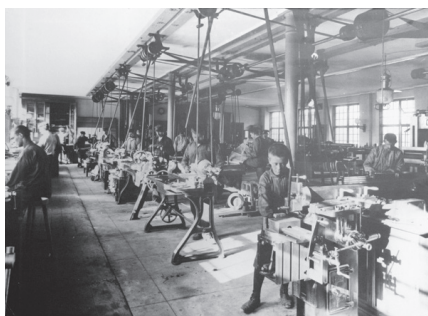
Профессор И. А. Вышнеградский явился основателем теории автоматического регулирования. В 1876 г. Вышнеградский опубликовал классический труд «О регуляторах прямого действия». Регулятор прямого действия, впервые изобретенный Ползуновым в 1764 г., а затем Уаттом в 1784 г., применялся около 100 лет, но теории этого регулятора не было. Вышнеградский разработал эту теорию, причем его исследование вышло далеко за пределы теоретического расчета регулятора прямого действия. В своей работе Вышнеградский дал математические основы общих принципов автоматического регулирования, и в этом отношении его работа остается актуальной и в наше время. Вторая работа Вышнеградского «О регуляторах непрямого действия», изданная в 1878 г., имела громадное значение как теоретическая база для развития многочисленных методов косвенного регулирования.

Специализация машиностроения способствовала внедрению в него автоматизации, так как сужение функций станка прямо вело к упрощению выполняемых им операций и тем самым создавало благоприятные условия для внедрения автоматических процессов. Однако автоматизация в станкостроении не приобрела в то время господствующего положения.

Внедрение электропривода в машиностроение. Огромное влияние на развитие машиностроения оказала электрическая энергия, которая с 80-х гг. XIX в. стала широко применяться на машиностроитель-

ных заводах. На смену паровой машине, целое столетие безраздельно господствовавшей на заводах и фабриках, пришел электрический двигатель. Новый двигатель оказался не только экономичнее, но и компактнее, он занимал меньше места и требовал гораздо меньше к себе внимания со стороны рабочего. Электродвигатель был и более безопасным в работе по сравнению с паровой машиной.

С внедрением в машиностроение электродвигателя встал вопрос о новой системе передачи энергии к станкам. Та система передачи, которая применялась при паровых двигателях, была весьма громоздка, неудобна и неэкономична. Под потолком вдоль цеховых помещений тянулись вращающиеся валы с насаженными на них приводами-колесами – шкивами, с которых сбегали к станкам ремни. Одна мощная паровая машина, расположенная где-то вне цеха, вращала с помощью приводного ремня всю систему валов, которые, в свою очередь, отдавали полученную энергию, посылая ее к станкам по ветвям таких же приводных ремней. Таким образом, образовывалась целая паутина ремней, которые затемняли помещение цеха, загромождали все пространство цеховых пролетов. На этом длинном пути от единого источника – паровой машины – до рабочего шпинделя станка терялось чрезвычайно много драгоценной энергии (рис. 5.25).



5.25. Общий вид цеха конца XIX в. с трансмиссионным приводом

Электродвигатель, как двигатель крупной промышленности, стал внедряться в производство в 80-х гг. XIX в. Тогда же началось постепенное усовершенствование передачи электроэнергии от двигателя к рабочим машинам. Различают два периода внедрения электродвигателя в производство. Вначале на промышленных предприятиях был введен

групповой электропривод. Компактность электродвигателя и простота ухода за ним скоро натолкнули на мысль рассредоточить энергию единого мощного двигателя на несколько менее мощных двигателей и перенести их непосредственно в цехи. Для этой цели единую трансмиссионную передачу стали разбивать на отдельные участки, обслуживающие небольшие группы станков. Каждая из этих групп станков приводилась в движение отдельным электродвигателем.

Таким образом, единый мощный электродвигатель был заменен несколькими менее мощными двигателями, которые располагались вблизи станков. Групповая трансмиссия сделала управление станками более гибким и точным. Однако и она не устраняла многие недостатки групповой передачи. Групповой электропривод был не способен разрешить и проблему обеспечения непрерывности последовательных операций. И только внедрение индивидуального электропривода полностью устраняло эти недостатки.

При системе индивидуального электропривода один электродвигатель обслуживает отдельный станок, и, таким образом, каждый станок имеет свой источник движения. Это чрезвычайно упростило конструкцию станка и сделало излишним многочисленные громоздкие ременные передачи.

Индивидуальный электропривод, начавший внедряться в начале XX в., совершил в полном смысле слова техническую революцию в машиностроении, позволил управлять рабочими операциями с безграничной гибкостью. Потери электроэнергии свелись к минимуму. Лес ремней хотя и не упразднился, но сделался «карликовым», почти совершенно не влиявшим на условия работы в цехе. Применение индивидуального электропривода привело к повышению скорости станков и создало предпосылки для автоматического управления ими.

Электропривод повлек за собой изменение самой конструкции станков. Станки стали конструироваться так, чтобы двигатель и станок, поставленные на общей станине, составляли одно целое. Благодаря этому отпала необходимость в индивидуальной трансмиссии. Двигатель, вплотную приблизившись к станку, стал как бы частью машины.

Дальнейшие успехи электротехники в области электрификации промышленности создали возможность сращивания двигателя и станка. В начале XX в. в конструкцию сложных станков ввели уже не один, а несколько двигателей, что привело к электрическому управлению операциями. Однако эта тенденция в рассматриваемый период еще не получила своего полного развития.

5.6. Развитие транспорта и химии в XX в.

Применение электрической энергии на транспорте. Промышленный этап истории электротехники, начавшийся в конце 80-х гг. XIX в. и особенно после 1891 г., характеризуется не только электрификацией силового хозяйства промышленности, но и применением электрической энергии в качестве технологического фактора в различных производствах. Наиболее яркое выражение этого внедрения электричества в технологию мы находим в области электрохимии и электрометаллургии.

Централизованное производство электроэнергии позволило в широких масштабах приступить к электрификации городского и пригородного транспорта; расширяется электрификация заводских и рудничных железных дорог. В 80-х гг. позапрошлого века началось сооружение трамвайных линий во многих городах Европы и Америки. При первых опытах электрификации городских железных дорог из эстетических соображений стремились контактный провод убрать под землю: под полотном дороги делался туннель с контактным проводом, а токосъемное устройство трамвая проходило в туннель через узкую щель. Столь сложное устройство первых трамвайных линий первоначально замедляло их распространение. В середине 80-х гг. стали устраивать воздушную проводку контактного провода, что значительно ускорило развитие трамвайного строительства сначала в Америке, а затем в Европе.

Однако очень скоро стало ясно, что трамвайный транспорт не может полностью удовлетворить потребность в быстром перемещении огромных масс людей в крупнейших центрах промышленности. Значительно увеличить скорость и удобство пассажирских перевозок удалось путем сооружения надземных и подземных железных дорог (метрополитенов).

Наиболее удачной с точки зрения внешнего вида улиц, уменьшения шума и проч. оказалась подземная железная дорога. Подземные дороги с паровой тягой строились еще до 90-х гг. прошлого века (например, метрополитен в Лондоне, который был переведен на электрическую тягу в 1890 г.). Сооружение этого метрополитена велось открытым способом: вдоль улицы вырывали глубокую канаву, бетонировали ее дно и стенки, а затем закрывали сверху железными балками; соорудив заново мостовую, восстанавливали прежний вид улицы.

Впоследствии для метрополитена стали строить туннели глубоко под землей, оба этих метода сохранились и до настоящего времени.

Вслед за первыми опытами электрификации городского транспорта уже в 90-х гг. прошлого века появились попытки перевести на электрическую тягу сначала пригородные, а затем и магистральные железные дороги с большой плотностью движения. Перспектива перевода на электротягу пригородных и магистральных железных дорог была весьма заманчивой: электрический транспорт позволяет равномерно распределять мощность электродвигателей по длине поезда (так называемые мотор-вагонные секции), что позволяло увеличить общий вес поездов, а также скорость даже при коротких длинах перегонов.

Развитие автономного электротранспорта нашло свое продолжение в появлении теплоэлектрической тяги. Этот вид транспорта, на котором сохраняются все преимущества электрической тяги при первичном тепловом двигателе (дизель), открывал чрезвычайно широкие возможности. Теплоход является гораздо более экономичным и более автономным локомотивом, чем паровоз. Впервые теплоэлектрическая тяга была осуществлена в 1903–1904 гг. для привода нефтеналивных барж «Вандал» и «Сармат», построенных Сормовским заводом.

В России до революции электрификация железных дорог не получила развития, несмотря на многочисленные проекты и выступления передовых русских деятелей, предлагавших электрифицировать важнейшие участки железных дорог. Даже начавшаяся электрификация дороги Петербург – Ораниенбаум не была завершена из-за Первой мировой войны. Остались нереализованными несколько проектов сооружения электрифицированных железных дорог на Кавказе. Теплоэлектрическая тяга в дореволюционной России практически не получила распространения.

Единственной областью применения электрической тяги в России был трамвай. Первый трамвай в России был пущен в 1892 г. в Киеве. С 1892 по 1900 г. трамвайное движение было открыто в 12 городах России; всего до революции в России действовало 36 трамвайных предприятий в 35 городах. Сравнительно быстрое для дореволюционной России развитие трамвая объясняется значительно ускорившимся в конце XIX и начале XX в. ростом городского населения, связанным с быстрым развитием производства. Так, с 1840 по 1916 г. городское население в России увеличилось почти в 5 раз.

Процесс электрификации углублялся, захватывал все новые и новые отрасли производства, проник в сельское хозяйство и быт. Электрические станции становились крупными промышленными предприятиями по выработке электроэнергии, сети разных станций объединялись,

создавались первые энергетические системы. Начинаясь современный этап развития техники.

Транспортное машиностроение. В рассматриваемый период широкое распространение получила паровая тяга для нужд транспорта. Она, как правило, применялась на железнодорожном и водном транспорте. Попытки применить паровую тягу для других транспортных средств не увенчались успехом.

Появление двигателя внутреннего сгорания послужило толчком к развитию транспорта и авиации.

Об экономичном и легком двигателе, лишенном парового котла и всегда готовом к немедленному запуску, давно мечтали изобретатели разнообразных «самоходных экипажей». Поэтому почти одновременно с разработкой конструкции легких бензиновых двигателей были сконструированы и первые предшественники современных автомобилей. В декабре 1883 г. немецкий механик Готтлиб Даймлер получил патент на бензиновый двигатель очень компактного устройства, пригодный для установки на экипаже. С этого времени предпринимаются попытки построения самодвижущихся экипажей с бензиновым двигателем, и на основе этих опытов создается автомобиль, который постепенно совершенствуется. До начала XX в. не существовало самостоятельной автомобильной промышленности; автомобили изготавливались в единичных экземплярах отдельными машиностроительными фирмами для потребностей немногих частных потребителей: капиталистов, членов правительств и крупных чиновников.

Создание спортивных рекламных машин, когда привлекались лучшие научно-технические силы и не жалелись средства, способствовало быстрому совершенствованию автомашин и превращению их в один из видов транспорта. В конце позапрошлого века была предложена первая конструкция грузового автомобиля. Грузовые автомобили стали использоваться на подъездных путях между заводами, складами и железнодорожными станциями, где вследствие небольшой протяженности линий легко было построить хорошие дороги.

Значительное развитие получила автомобильная промышленность во время Первой мировой войны, когда в ряде стран стали создаваться автомобильные предприятия в связи с возросшими государственными субсидиями и крупными заказами военного времени.

Автомобиль явился первым сложным техническим объектом, потребовавшим организации массового производства. С этой точки зрения автомобильная промышленность имела сильное влияние на организа-

ционные методы производства в других отраслях промышленности. До возникновения автомобильного производства непрерывная поточная организация технологического процесса не применялась для изготовления столь сложных агрегатов, ограничивая свое распространение на консервных, шовичных, спичечных и подобных фабриках. Массовое производство автомашин позволило накопить ценный опыт для организации поточного производства во многих отраслях машиностроения.

В рассматриваемый период совершился переход от воздухоплавания к авиации, от полетов «по воле ветра» к управляемым полетам.

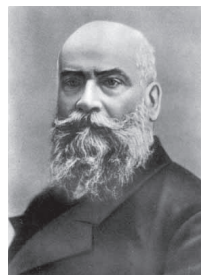
Полеты птиц и бумажных змеев привлекали внимание многих изобретателей, но попытки механического подражания птицам при постройке летательных аппаратов с машущими крыльями никакого успеха не имели. Более плодотворным оказалось подражание полету воздушно-го змея с заменой натяжения веревки тянущей силой воздушного винта. Изучение полета змеев привело А. Ф. Можайского в 1878 г. к постройке аэроплана, для которого он сконструировал специальные легкие паровые машины. Аэроплан Можайского имел все основные элементы современного самолета: несущие плоскости, воздушные винты, двигатели, фюзеляж, хвостовое оперение. Современный анализ этого самолета показывает, что принципиальное решение задачи было правильным, но самолет имел слабый двигатель и недостаточную устойчивость. Эти же выводы относятся к самолетам Хэнля (Англия), Максима (США), предполагавшими только паровым двигателем.

В накоплении опыта в области авиации большое значение имели работы немецкого инженера О. Лилиенталя, построившего десятки планеров и выполнившего на них сотни спусков с холма. Попыты Лилиенталя, разбившегося при одном из своих полетов, были продолжены французским инженером, работавшим в США, О. Шанютом, который путем последовательных изменений приблизил формы своего планера к типу самолета-биплана.

В 1903 г. американские конструкторы братья Орвиль и Вильбур Райт, поставив на видоизмененный и увеличенный планер Шанюта 12-сильный бензиновый мотор, поднялись в воздух и положили начало многочисленным конструкциям первых самолетов. Постепенно стали увеличиваться расстояния полета от метров до десятков километров, длительность от секунд до минут и часов; высота от метров до сотен метров. Одновременно возрастало число жертв авиации. Построенные на основе слепого опыта, аэропланы по неизвестным причинам падали, увеличивая число погибших летчиков. Нужна была теория полета, тео-

рия подъемной силы самолета, теория тяги воздушного винта, для того чтобы превратить авиацию из опасного спорта в воздушный транспорт. Заслуга в создании теории самолета принадлежит основателю аэродинамики, профессору Николаю Егоровичу Жуковскому.

Первая работа Жуковского «К теории летания» была опубликована в 1890 г. Развивая общие принципы своей теории, Жуковский разработал теорию ряда частных вопросов в работах: «О наиболее выгоднейшем угле наклона аэропланов» (1897 г.), «О крылатых пропеллерах» (1898 г.), «Теория гребного винта с большим числом лопастей» (1907 г.), «Вихревая теория гребного винта» (1912–1915 гг.), «Аэродинамический расчет аэропланов» (1917 г.). Работы Жуковского принесли ему заслуженную славу. Во всем мире стали применять теорию Жуковского при конструировании самолетов.



Николай Егорович
Жуковский
(1847–1921)

Теория Жуковского раскрыла новые возможности полета самолетов. Еще в 1891 г. Жуковский дал теоретическое обоснование возможности осуществления мертвой петли. В 1913 г. военный летчик П. Н. Нестеров положил начало технике высшего пилотажа, осуществив первым в мире мертвую петлю.

Возникновение поточного производства с применением конвейера.

Поточное производство – прогрессивный метод организации производства, характеризующийся расчленением производственного процесса на отдельные, относительно короткие операции, выполняемые на специально оборудованных, последовательно расположенных рабочих местах – поточных линиях, при обеспечении автоматического перемещения производимых деталей вдоль линии, которая называется конвейером.

Важной характеристикой работы конвейера является ее непрерывность. Это верно и когда конвейером называют средство для транспортировки грузов на небольшие расстояния, и когда конвейер – система поточного производства на базе движущегося объекта для сборки. Эта система превратила процесс сборки сложных изделий, ранее требующий высокой квалификации от сборщика, в рутинный, монотонный, низкоквалифицированный труд, значительно повысив его производительность. Расстановка рабочих или автоматов на линии конвейерной сборки осуществляется с учетом технологии и последовательности

сборки или обработки деталей, чтобы добиться эффективного разделения труда.

Сам по себе конвейер в конце XIX – начале XX в. уже не был новинкой. Пример, конечно, из другой области, но, скажем, – на скотобойне тушу коровы или свиньи рабочие разделявали на конвейере. Тот же, по сути, принцип, только не «разборки», а сборки, применил Генри Форд в автомобилестроении. Подобные идеи в то время витали в воздухе, но Форд и его помощники первыми реализовали их применительно к такой сложной продукции, как автомобиль.

Целью Форда было создание недорогого автомобиля, доступного как можно большему числу покупателей. Кстати, он не рассматривал сборочный конвейер как неотъемлемую часть производственного процесса. Он просто искал оптимальное решение для выпуска массового автомобиля. А эту задачу как раз решал сборочный конвейер.

Когда был создан автомобиль «Форд» «Модель Т», большинство автомобилей в США стоили от 1 100 до 1 700 долларов. А цена автомобилей люкс доходила до 2 500 долларов. И тут появляется вполне приличный фордовский автомобиль по цене 825–850 долларов, т. е. чуть ли не вполтину дешевле среднего автомобиля и почти на треть ниже стоимости самого дешевого в 1908–1910 гг. А для тех лет 400 долларов разницы – огромные деньги. В среднем работающий в США получал тогда 100 долларов в месяц. И стоимость автомобилей превышала среднюю годовую зарплату. А «Модель Т», благодаря конвейерной сборке и налаженному выпуску запчастей, появилась в продаже по цене, доступной заводскому рабочему. Прежде автомобиль считался игрушкой только для богатых. Его не могли позволить себе даже средние буржуазные слои, не то что рабочий класс. Но благодаря Форду человек, работающий на заводе или фабрике по 40 часов в неделю, впервые получил возможность купить новый автомобиль.

После того как весь мир убедился в высокой производительности поточных производств, их стали внедрять по всему миру. Сначала в автомобильной, а затем и в других отраслях промышленности. Следующим шагом в принципиальном развитии поточного производства является внедрение промышленных роботов в 80-х гг. XX века.

Химическая промышленность. Развитие химической промышленности в рассматриваемый период характеризовалось не только расширением существующих производств (кислотных, пороховых, содовых, красочных и др.) и улучшением их технологических процессов, но и внедрением химии в новые области.

Создается нефтеперерабатывающая промышленность. Нефть становится исходным материалом для получения ряда ценнейших продуктов. Менделеев указал на особую ценность нефти как замечательного сырья для ряда химических производств. Изобретение крекинг-аппаратов положило начало отгонке из нее легких фракций, используемых в авто- и авиамоторах, и выработке из нефтяных остатков ряда ценных химических соединений, масел, жиров, ароматических, лекарственных и многих других веществ.

В металлургии, помимо развития химического способа получения чистого алюминия, химия все шире начинала применяться в производстве специальных сталей. Машиностроение требовало особых сортов сталей, которые можно было получить только на основе достижений химии. Постепенно химические лаборатории организуются на многих металлургических заводах. Химия черной металлургии вырастает в специальную область химических наук.

В теплотехнике химия дала основу для тепловых расчетов котлоагрегатов и двигателей внутреннего сгорания. Формулы Менделеева для определения теплотворной способности топлива и количества воздуха, необходимого для его сжигания, служат и в настоящее время отправными формулами для большинства тепловых расчетов. Химия горения определяла данные для выявления показателей качества сжигания топлива; газоанализаторы разнообразных систем, в том числе и автоматические, стали необходимой принадлежностью котельных установок. С повышением давления в котлах возросли требования к качеству питающей воды. Были разработаны различные способы химической очистки воды. В крупных котельных установках стали организовываться лаборатории для химического контроля процесса сжигания топлива и качества питающей воды.

Все большее значение начало получать применение химии в сельском хозяйстве, знавшем ранее только простейшие виды естественных органических удобрений, применявшихся на основе тысячелетнего опыта. Внедрение точных методов химического анализа в изучение биологических процессов позволило создать научную базу для земледелия, повысить урожайность различных типов почв путем применения неорганических удобрений (суперфосфаты и др.). Добывание и обработка этих удобрений сложились в новую область промышленного применения химии.

В военном деле химия в рассматриваемый период привела к переходу от давно применявшегося черного пороха к ряду новых взрывчатых веществ.

Трудно назвать какую-либо отрасль промышленности, в которую химия не была бы внедрена в той или иной форме. Кроме коренных изменений ряда технологических процессов и получения новых веществ, создавших отдельные отрасли химической промышленности, следует отметить особое значение химии в утилизации отходов производства. На примере нефтяной промышленности хорошо видно, как химия превратила мазут, ранее считавшийся отбросом нефтепереработки при получении из нее керосина, в ценнейшее сырье для химических производств. Подобными же примерами можно проиллюстрировать внедрение химии в большинство отраслей промышленности.

Рост химической промышленности и внедрение химии во все отрасли техники могли осуществиться только на основе глубокой научной теории. Такой теорией послужили периодическая система элементов Д. И. Менделеева и труды А. М. Бутлерова, обосновавшего теорию химического строения органических соединений. Характерно, что сам Менделеев искал и находил пути к практическому применению результатов своих теоретических исследований. Менделеев создал особый пирокolloидный порошок, написал ряд трудов по стекольному, сахарному, крахмальному, винокуренному, писчебумажному, мукомольному и другим производствам. В работах великого русского химика внедрение химии во все области производства нашло наиболее яркое отражение.

5.7. Развитие методов исследования структуры и контроля качества материалов

На рубеже XIX и XX вв. начинается своеобразная замена «ведущей» науки промышленности. Если весь XIX в. можно заслуженно назвать веком химии, то начинающийся XX в., безусловно, стал веком физики.

Рентгеновские «икс-лучи». Одним из физических приборов, с которым физики конца XIX в. много экспериментировали, были так называемые разрядные трубки. Разрядные трубки представляют собой замечательные устройства в экспериментальной физике не только по внешним эффектам, но и по тем открытиям, которые были сделаны с их помощью. Технология их получения была следующей: изготавливали длинные стеклянные трубки и откачивали из них воздух до различных давлений. Когда к трубкам подавали высокое напряжение, через элек-

троды, расположенные на торцах, наблюдалось красивое разноцветное свечение.

Здесь мы коснемся лишь одного эффекта, состоящего в том, что, когда давление уменьшалось, разряд становился слабее, и непосредственно перед тем, как он прекращался, сама разрядная трубка окружалась зеленым свечением. Что же происходило?

Нужно помнить, что в конце XIX в. разрядная трубка была прибором, возбуждавшим живейший интерес у физиков, и с нею производили эксперименты в большинстве лабораторий мира. Последовательные опыты, сделанные с помощью нового прибора, непременно должны были дать результаты, и вот в 1895 г. Вильгельм Рентген сделал замечательное открытие. Все, кто изучает физику, должны запомнить эту дату – дату начала того, что мы теперь называем «современной физикой». Как бы ни назвали ее будущие поколения, изменение темпов развития физики с этого времени остается несомненным фактом.



Вильгельм Конрад
Рентген
(1845–1923)

Рентген экспериментировал с разрядной трубкой и заметил, что, когда давление в трубке уменьшали, лежавшее поблизости вещество (платиноцианид бария) начинало сильно светиться; сильнее всего оно светилось непосредственно перед тем, как пропадал разряд, когда вакуум становился слишком высоким, чтобы в трубке мог идти ток. В том, что поблизости находилось названное соединение, нет ничего удивительного: оно было известно благодаря свечению (флуоресценции) в ультрафиолетовых лучах, и его можно было найти в большинстве физических лабораторий.

Рентген подумал, что свечение вызывалось ультрафиолетовыми лучами от трубки, и для проверки этого предположения заключил трубку в плотно закрывающуюся коробку из черного картона. К своему удивлению, он не заметил никакого уменьшения яркости свечения. Свечение можно было обнаружить даже тогда, когда экран был удален на два метра. Рентген сразу понял, что он открыл какой-то новый вид излучения, способного проходить через материал, не прозрачный для всех других видов излучения, кроме радиоволн.

Большинство ученых немедленно опубликовали бы такое открытие. Рентген же считал, что сообщение произведет большее впечатление, если удастся привести какие-то данные о природе открытых им лу-

чей, изучив их свойства. Поэтому он напряженно работал шесть недель, проверяя все предположения, которые только приходили ему в голову. Рентген доказал, что лучи исходили от трубки, а не от какой-либо другой части аппаратуры. Он показал, что большинство материалов прозрачны для нового излучения и некоторые материалы более прозрачны, чем другие. Книга в 1 000 страниц едва поглощала это излучение; стекло, содержащее свинец, поглощало его в большей степени, чем обычное стекло; кости руки поглощали сильнее, чем мышечная ткань; платина поглощала сильнее, чем серебро или медь. Многие другие вещества, кроме платиноцианида бария, также испускали свечение под действием новых лучей – многие сорта стекла, кальцит и каменная соль.

Рентген сделал важное открытие, что лучи действуют на фотографическую эмульсию, и использовал этот эффект для иллюстрации некоторых своих выводов. Рентгену не удалось обнаружить ни теплового действия новых лучей, ни какого-либо действия их на сетчатку глаза. Он приближал глаз вплотную к разрядной трубке – каждый, кто знает об опасном действии этих лучей на живую ткань, может прийти в ужас от подобного эксперимента!

Рентген не обнаружил преломления открытых им лучей в призмах, сделанных из алюминия и резины. Он не смог вызвать отклонения лучей электрическим или магнитным полями и не обнаружил никаких интерференционных явлений. Один положительный результат поисков ученого, к которому он пришел позже, заключался в том, что лучи разряжали наэлектризованные тела.

Таким образом, недели, потраченные Рентгеном на эксперименты, не привели ни к каким определенным результатам. Единственная закономерность, которую удалось ему установить, заключалась в том, что более тяжелые химические элементы поглощали лучи сильнее, чем легкие. Рентген опубликовал результаты своей работы и скромно назвал открытое им излучение «икс-лучами». Это открытие потрясло весь, не только научный, мир. Лучи Рентгена быстро нашли практическое применение в медицине и технике, но проблема их природы оставалась одной из важнейших в физике.

Открытие дифракции рентгеновских лучей. А теперь перенесемся в 1912 г. Место действия – Мюнхен. Знаменитый физик Арнольд Зоммерфельд поручает одному из своих учеников Паулю Эвальду исследовать прохождение света через решетку из атомов.

Уже тогда большинство физиков считали, что в твердом теле атомы расположены в виде регулярной кристаллической решетки. Прямых

доказательств этого не было, и мнение основывалось на разного рода косвенных «уликах» – существовании правильной огранки кристаллов, анизотропии их свойств и т. д.

Более того, трудами кристаллографов Р. Гаюи, О. Бравэ, Е. С. Федорова, А. Шенфлиса была разработана теория периодического пространственного расположения атомов в кристаллах.

Особо необходимо выделить работы русского кристаллографа Е. С. Федорова. Крупнейшее достижение Федорова – строгий вывод всех возможных пространственных групп (1891 г.). Тем самым Федоров описал симметрии всего разнообразия кристаллических структур. В то же время он фактически решил известную с древности задачу о возможных симметричных фигурах. В некотором смысле Федоров завершил построение здания классической кристаллографии. Значение открытия Федорова можно проиллюстрировать тем, что все изученные до 80-х гг. XX в. кристаллические структуры укладывались в 230 открытых им пространственных групп и лишь в 1982 г. были открыты новые типы структур, не укладывавшиеся в классическую кристаллографию (квазикристаллы и модулированные кристаллы). Кроме того, Евграф Степанович создал универсальный прибор для кристаллооптических измерений – федоровский столик.



Евграф Степанович
Федоров
(1853–1919)

Не хватало «пустыка» – непосредственного доказательства существования кристаллической решетки.

Встретившись с некоторыми трудностями, П. П. Эвальд решает проконсультироваться с теоретиком М. Лауэ. Лауэ, который не был знаком с работами кристаллографов, узнает, что кристалл, вероятно, представляет собой правильную решетку из атомов. Заинтересовавшись, он осведомляется о возможном размере ячейки такой решетки.

У Лауэ возникает идея: нельзя ли использовать кристалл как очень тонкую естественную дифракционную решетку? Надо пропустить через кристалл пучок рентгеновских лучей и исследовать с помощью фотометодов получающуюся картину! Слово было за экспериментаторами.

Каждое воскресенье молодые физики Мюнхена собирались в одном из кафе, где Лауэ впервые и обнародовал свой план. Его мысль взяли проверить один из молодых сотрудников Зоммерфельда Вальтер Фридрих и Пауль Книппинг, ранее работавший под руководством Рентгена.

Для исследования выбрали имевшийся «под руками» кристалл медного купороса. Схема опыта была очень простой. Кристалл облучался рентгеновскими лучами, а рассеянное излучение фиксировалось фотопластинкой (рис. 5.26, *а*).

Несколько первых попыток по техническим причинам окончились неудачей. Но затем фортуна улыбнулась исследователям, и ими была получена первая в мире дифракционная картина от кристалла с помощью рентгеновских лучей (рис. 5.26, *б*).

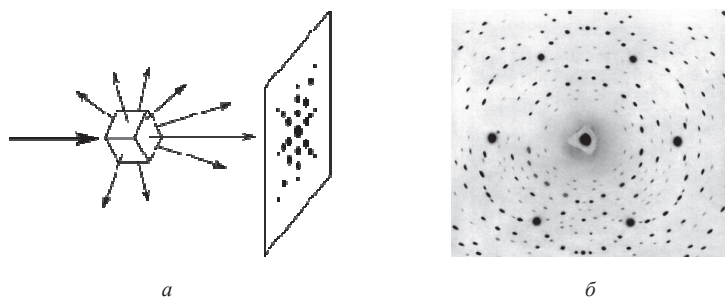


Рис. 5.26. Схема опыта Лауэ (*а*) и лауэграмма бериллия (*б*)

Их работа произвела на современников очень сильное впечатление. Лауэ писал: «В глубокой задумчивости шел я по Леопольдштрассе после того, как Фридрих показал мне эти снимки, и уже вблизи квартиры мне пришла в голову мысль о математической теории этого явления». Теория была опубликована, и за эту работу Лауэ был удостоен Нобелевской премии.

И до этого экспериментаторы неоднократно пропускали рентгеновские лучи через кристаллы. Но внимание их было приковано только к интенсивному центральному пятну. Оно образуется из-за той части излучения, которая проходит через кристалл, его «не замечая». Именно оно и не содержит интересной информации. Результатом взаимодействия лучей и кристалла становятся боковые дифракционные максимумы – те, которые до Лауэ никто не искал.

Эксперимент увенчался уникальными результатами. Во-первых, была открыта дифракция рентгеновских лучей, которая доказала их волновую природу. Во-вторых, окончательно подтвердилась гипотеза кристаллографов о периодическом расположении атомов в кристалле. Но самым важным для нас является то, что эта работа подсказала путь к расшифровке атомной структуры веществ.

Это открытие сразу наполнило абстрактные кристаллографические схемы живым физическим содержанием. Вот как откликнулся Е. С. Федоров на опыт Лауэ (выдержка из письма к Н. А. Морозову): «Дорогой Николай Александрович! Вы заканчиваете свое письмо словами, что человек никогда не увидит атома. Но Вы написали это приблизительно в то же самое время, когда человек уже видел атомы собственными глазами, если не сами атомы, то фотографическое изображение, вызванное ими... Для нас, кристаллографов, это открытие имеет чрезвычайное значение».

Теория Вульфа – Брэгга. К моменту начала расшифровки структуры кристаллов возможные типы структур уже были выведены «на кончике пера». Это существенно облегчило проведение структурного анализа.

Дифракционные рефлексы (так называются засвеченные места фотопластинок) образуют причудливые узоры. По определенным законам трехмерная структура кристалла проецируется на плоскость пленки. И невольно появляется мысль использовать «волшебный фонарь» лучей Рентгена и научиться «переводить» расположение рефлексов на пленке в пространственное расположение атомов.

Макс Лауэ первым сделал шаг на этом пути. Он пытался расшифровать кристаллическую структуру цинковой обманки. Но, хотя в принципе дифракционные эксперименты он объяснил правильно, установить атомное строение конкретного вещества ему не удалось. Не исключено, что в этом проявились и некоторые личные пристрастия Лауэ. Через много лет другой классик современной науки, также Нобелевский лауреат, Макс Борн спросил у него, почему сам Лауэ серьезно не занялся исследованием кристаллических структур. Его ответ был таков: «Я интересовался только фундаментальными принципами и детальное исследование предоставлял другим...»

Наука открывает перед человеком широкое поле деятельности. Самые разные люди могут отыскать занятия себе по вкусу. Нашлись и любители «детальных исследований».

В начале XX в. из Австралии в Англию переехала семья Брэггов. А вскоре отец и сын Брэгги встали в авангарде изучения строения вещества рентгеновскими лучами. В 1915 г. они были удостоены Нобелевской премии по физике. Брэгг-сын (Уильям Лоуренс Брэгг) был в ту пору совсем молодым человеком, ему исполнилось 25 лет.

Сначала Брэгг (мл.) считал рентгеновские лучи потоком частиц. Даже результаты опыта в Мюнхене не сразу заставили его переменить свое мнение. Он пытался объяснить рефлексы на рентгенограмме от-

клонением частиц при их движении в веществе. Эта попытка оказалась неудачной, но упорные размышления и экспериментальные занятия не пропали даром. У Брэгга родилась удивительно плодотворная идея: а нельзя ли объяснить дифракционные рефлексии обычным отражением рентгеновских лучей от некоего подобия плоского зеркала в кристалле? Такими зеркалами могли быть только плоскости кристаллической решетки, «вымощенные» атомами.



Георгий Викторович
Вульф
(1865–1925)

Гипотезу было легко проверить. Если кристалл для рентгеновских лучей является как бы системой зеркал, то при его вращении дифракционные рефлексии должны поворачиваться синхронно с ним.

Так оно и оказалось. Эксперимент полностью подтвердил оригинальное предположение. Отталкиваясь от него, Брэгг провел несложный математический анализ.

Подобный анализ одновременно с Брэггом (мл.) провел русский кристаллограф Г. В. Вульф в 1913 г. Поэтому соответствующая формула вошла в учебники физики твердого тела под названием условия (или закона) Вульфа – Брэгга.

В результате этого эксперимента удалось расшифровать атомное строение множества веществ.

Электронный микроскоп. Первые эксперименты по расшифровке кристаллических структур проводились с помощью рентгеновских лучей, они оказались исключительно удобными «инструментами» структурного анализа. Удобными, но не единственными. Электромагнитная волна, которой мы хотим зондировать кристалл, должна иметь длину 0,1 нм. Существуют ли в этом диапазоне другие виды излучения, кроме рентгеновского? Вспомним дискуссию о природе света. Вначале никто не сомневался, что свет – это либо волны, либо поток частиц. Следовало только произвести правильный выбор. После серии дифракционных экспериментов в начале XIX столетия сомнений в волновой природе света, казалось бы, не оставалось. Однако спустя почти век было установлено, что свет иногда ведет себя как поток частиц – по-другому никак не удавалось объяснить явление фотоэффекта.

Следующий шаг был сделан в 1923 г. французским физиком Луи де Бройлем: если волны могут проявлять свойства частиц, то не могут ли и частицы проявлять свойства волн?

Однако если движущиеся частицы ведут себя как волны, то почему этого никто раньше не замечал? Это главное, что сразу же отпугивает в гипотезе де Бройля. Дело в том, что величина волновых движений частиц (например, автомобиля, движущегося с большой скоростью) ничтожно мала.

А на примере рентгеновских лучей мы уже знаем, как трудно установить волновую природу коротких волн. Из этой оценки также становится ясно, что реально регистрировать волновые свойства материи можно лишь на частицах микроскопически малой массы. И первый «кандидат в волны» – электрон.

Экспериментом по обнаружению волновых свойств электрона суждено было вновь стать дифракции. И вновь на кристалле, на этот раз никеля. Произошло это выдающееся для физики событие в 1925 г. в нью-йоркской лаборатории фирмы «Белл-Телефон».

Первооткрывателями волновых свойств вещества стали американские ученые Клинтон Дэвиссон и Лестер Джермер.

Принципиальная схема эксперимента по обнаружению дифракции электронов имеет уже привычный для нас вид. Между кристалломишенью и испускающей электроны пушкой поддерживается разность потенциалов, которая разгоняет электроны. Таким образом, регулируя напряжение, можно легко управлять длиной волны электронов.

Устанавливая детектор рассеянных электронов в разных позициях (или используя фотопластинку), определяют направления, где будут наблюдаться дифракционные максимумы.

Почти в то же время на другой стороне Атлантики, в Англии, аналогичные по смыслу эксперименты были поставлены Джорджем Томсоном и Александром Рейде. Результаты также подтверждали существование дифракции электронов.

С этого момента гипотеза о волновых свойствах вещества перестала быть гипотезой, и это событие было высоко оценено Комитетом по присуждению Нобелевских премий: в 1929 г. этой премии был удостоен Луи де Бройль, а в 1937 г. Нобелевскую премию по физике разделили Дэвиссон и Томсон как руководители двух групп, впервые экспериментально зафиксировавших волны материи.

Электрон стал первой ласточкой. Затем волновые свойства были обнаружены у других частиц, из которых нас больше всего интересует нейтрон. Нейтронные волны удалось зарегистрировать в 1936 г.

Именно эти три вида излучения – рентгеновские лучи, электроны и нейтроны – сегодня используются для анализа структуры кристал-

лов. С одной стороны, все они ведут себя схоже – как электромагнитные волны определенной длины. Для всех них выполняется закон Вульфа – Брэгга. Тем не менее различия между ними очень велики. Даже их беглый анализ выходит далеко за рамки нашего курса. Поэтому очень кратко остановимся лишь на нескольких пунктах.

С точки зрения простоты, сокращения материальных и финансовых затрат рентгеновские лучи – самая удобная техника. Посудите сами: для их получения нужна всего лишь стандартная промышленная рентгеновская трубка, которая рассчитана на 8 000 часов работы. Кроме того, как правило, рентгеновские измерения самые точные.

Нейтроны являются продуктом ядерных реакций, и для их производства уже требуется атомный реактор. Поэтому если рентгеновская аппаратура имеется практически в любой материаловедческой лаборатории, то нейтронный анализ менее доступен.

Электронный пучок получить намного легче, чем нейтронный. Для этого часто используется явление термоэлектронной эмиссии (хотя есть и другие способы), когда разогретая до высокой температуры вольфрамовая нить испускает электроны со своей поверхности. В отличие от нейтронов и рентгеновских лучей электроны имеют заряд и поэтому намного сильнее взаимодействуют с веществом. В частности, они обладают низкой проникающей способностью, и эксперименты приходится проводить в вакууме. Вакуумирование всегда существенно осложняет работы и является (при прочих равных условиях) нежелательной операцией. Другой минус электронной техники – необходимость тщательной подготовки образцов.

До сих пор рентгеновские лучи выглядели «идеальным героем» нашего повествования. Но и на солнце бывают пятна! Мы уже говорили, что рентгеновские лучи взаимодействуют в веществе практически только с электронами. Тяжелых ядер они почти «не замечают». Поэтому изучать с помощью рентгеновской техники расположение атомов легких элементов (в которых мало электронов) крайне неудобно. С другой стороны, если разные атомы (или ионы) имеют равное или близкое число электронов (как K^+ и Cl^- в опытах Брэгга), рентгеновские лучи не «различают» их. В обоих случаях незаменимым источником информации становится нейтронография. Нейтроны «чувствуют» вещество в основном за счет взаимодействия с ядром. Ни от заряда, ни от массы оно практически не зависит.

Свою «козырную карту» имеют и электроны. Электроны – заряженные частицы. О минусах, связанных с этим, мы уже говорили. Но имеются и важные плюсы: электронами легко управлять с помощью

электрических и магнитных полей. Используя это, оказалось возможным создать электронные микроскопы, где изображение формируется в электронных волнах.

Сама идея применения в микроскопии иных, не световых, лучей появилась сразу после открытия Э. Аббе в 1873 г., когда стало ясно, что сравнительно большая длина волны видимого света ставит преграду на пути повышения разрешающей способности оптического микроскопа. Единственным известным тогда видом излучения были так называемые катодные лучи. Но природа их была не изучена. Когда Дж. Томсон показал, что катодные лучи представляют собой поток частиц – электронов, идея их использования в микроскопии умерла в зародыше.

Она воскресла через два года после открытия де Бройля – в 1926 г. немецкий теоретик Г. Буш доказал, что магнитное поле может действовать на электроны как линза на свет. Это открывало возможность фокусировки электронных пучков. Простая связь между прикладываемым разгоняющим напряжением и длиной волны электрона показывала, что можно получить волны на несколько порядков короче световых. Это обещало уникальную возможность увидеть невидимое. Имелась и трудность: человеческий глаз не способен воспринимать изображение в электронных лучах. Но в то время уже существовал способ их визуализации с помощью экранов, покрытых люминофорами. Под действием электронов, попадающих на эти вещества, они начинают светиться. Первый прибор, похожий на современный электронный микроскоп, создан в Германии в 1931 г., и тогда же директор известной фирмы «Г. Сименс Шукертверке» получил первый патент на применение электронной оптики.

В дальнейшем электронная микроскопия постоянно совершенствовалась. Сегодня существует большое количество микроскопов, различающихся по способу использования электронных пучков. Самый простой из них – просвечивающего типа. Но из-за низкой проникающей способности электронов «на просвет» можно смотреть только очень тонкие образцы, изготовление которых, как уже подчеркивалось, требует много времени, умения и усилий (рис. 5.27).

Но в электронной микроскопии имеется еще одна уникальная и плодотворная возможность – микродифракция, т. е. дифракция от очень малого участка образца. В современных приборах размеры этого участка доходят до десятков нанометров. Работа в режиме микродифракции обеспечивается специальными операциями с электронной оптикой, а результаты незаменимы при анализе некоторых тонких особенностей структуры.

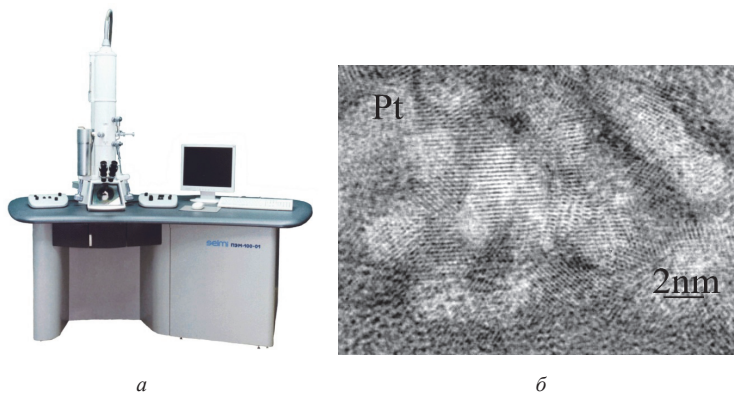


Рис. 5.27. Современный просвечивающий электронный микроскоп (а) и изображение атомов платины, полученное на нем (б)

Применение электронов настолько повысило разрешающую способность микроскопов, что при благоприятных условиях удается разглядеть даже отдельные атомы. Не менее важно, что с помощью электронной микроскопии и микродифракции идентифицируются самые мелкие выделения новых фаз, видны процессы их роста, их форма и особенности взаимного расположения.

5.8. Успехи металлофизики и материаловедения

Твердые растворы. Немецкий химик Иеремия Вениамин Рихтер (1762–1807) получил возможность убедиться в пользе даже мимолетного общения с великими. Он учился в Университете Кенигсберга (между прочим, это старейший действующий вуз на территории современной России), где слушал лекции крупнейшего философа Иммануила Канта. В одной из них Кант заметил, что в отдельных ветвях естественных наук истинной науки столько, сколько в ней математики. Мысль завладела Рихтером, и он направил свои усилия на отыскание количественных закономерностей в химии, которых этой науке в то время явно недоставало.

Математические способности современных ему химиков Рихтер, по-видимому, оценивал не слишком высоко. Во всяком случае, свой основной труд «Начальные основания стехиометрии» (1793) он начал с объяснения, что означают знаки «+» и «-». А венцом количественной теории Рихтера стал сформулированный им закон эквивалентов: «Если

мы получаем соединения из двух элементов, то, поскольку свойства элементов постоянны, один из элементов будет требовать всегда одного и того же количества другого элемента; так, например, если для растворения 2 частей извести требуется 5 частей соляной кислоты, то для растворения 6 частей извести потребуется 15 частей соляной кислоты».

Согласно такой логике вещество, образованное в результате реакции элементов A и B , всегда можно представить в виде A_xB_y , где x и y – постоянные числа. Правда, иногда два элемента образуют несколько соединений – взять хотя бы углекислый и угарный газы, CO_2 и CO . Но и в этом случае состав каждого из них строго фиксирован и при переходе от одного к другому меняется скачком, а не постепенно. Всегда ли это так для твердых тел? Вопрос стал предметом острого спора между двумя французами – Клодом Луи Бертолле (1748–1822) и Жозефом Луи Прустом (1754–1826). Оба пользовались заслуженной известностью, и за столкновением их мнений следила (без преувеличения) вся ученая Европа. По Бертолле, состав соединения, образованного двумя элементами, может непрерывно изменяться в некоторых пределах. Альтернативную позицию занимал Пруст: «Соединение есть привилегированный продукт, которому природа дала постоянный состав».

Научная дуэль продолжалась несколько лет. В результате опытов на сульфидах и оксидах металлов Прусту удалось представить более веские доказательства своей точки зрения, и в глазах большинства современников он остался победителем. Более того, постоянство состава химических соединений послужило английскому химику и физику Джону Дальтону (1766–1844) основанием для определения атомных масс элементов. Точка зрения Пруста выражается даже самым видом химических формул. Например, запись NiO означает, что в оксиде никеля на один атом металла приходится ровно один атом кислорода.

Спустя почти 100 лет на итоги дискуссии Пруста и Бертолле пришлось взглянуть совсем по-иному. Приведем ее ретроспективную оценку известным химиком Анри Ле Шателье: «Вследствие ясности, которая была внесена в химию понятием об определенном соединении (т. е. соединении постоянного состава), исследователи обратились на долгое время к изучению именно этих веществ. Соединения переменного состава, жидкие и твердые растворы были оставлены без внимания, между тем как важность и интерес подобных тел в смысле исследования явлений природы нисколько не меньше».

Знаменитый голландский физикохимик Якоб Хендрик Вант-Гофф (1852–1911) заметил, что свойствами жидких растворов обладает и боль-

шая группа твердых веществ, в том числе некоторые металлические сплавы. Он назвал их по аналогии твердыми растворами; случилось это в 1890 г. Новый термин привился, но лишь позднее выявилось богатство его содержания.

Пробыв почти сто лет со времени знаменитой дискуссии в положении пасынка химии, твердые растворы в конце XIX в. внезапно оказались в центре внимания (рис. 5.28).

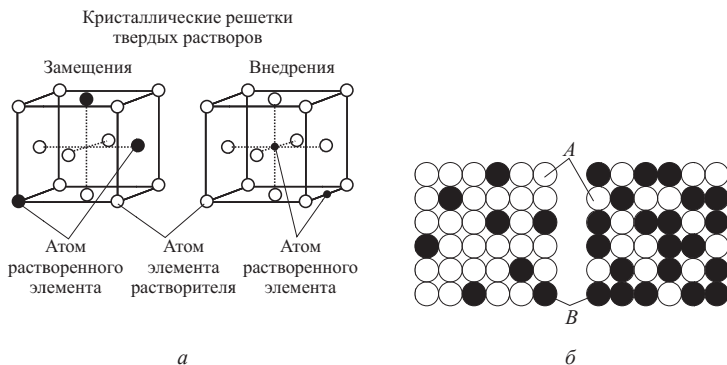


Рис. 5.28. Твердые растворы: а – типы твердых растворов; б – твердый раствор замещения в компоненте А различных концентраций компонента В



Николай Семенович
Курнаков
(1860–1941)

Окончательный метод их исследования был предложен и широко применен великим русским ученым, впоследствии академиком, Николаем Семеновичем Курнаковым. Сам он считал себя прежде всего химиком. Но истинные масштабы его деятельности оказались значительно шире. Металлофизика, физическая химия, организация химических и металлургических производств и научных институтов, педагогическая и просветительская работа – таков краткий перечень областей, где Курнаков добился замечательных успехов.

По мысли Курнакова, твердые растворы следовало искать с помощью измерения электросопротивления. Он писал: «Опыт показывает, что при образовании металлических твердых растворов происходит уменьшение проводимости. Это понижение настолько значительно, что служит одним из самых чувствительных средств для отыскания твердых растворов».

Рассмотрим пример: удельное сопротивление технически чистой меди при 20 °С составляет 0,017 Ом·мм²/м. Добавим к меди 1 % марганца, удельное сопротивление которого намного выше – 0,050 Ом·мм²/м. Сопротивление сплава окажется 0,048 Ом·мм²/м! Почти как у чистого марганца!

Можно придумать всего два возможных способа расположения атомов марганца в меди: по одному – в виде твердого раствора или в виде скоплений, т. е. какой-либо богатой марганцем фазы. Начнем анализ со второго случая (рис. 5.29).

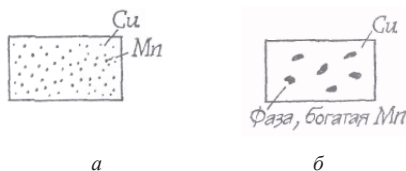


Рис. 5.29. Схемы взаимодействия марганца с медью: а – марганец растворился в меди с образованием твердого раствора; б – марганец образовал в меди химическое соединение

Сопротивление фазы, богатой марганцем, вполне может быть намного выше, чем у меди. Для простоты примем даже, что она вообще не проводит ток. Тогда ее появление приведет лишь к небольшому (ведь марганца всего 1 %) уменьшению площади сечения медного проводника. И удельное сопротивление соответственно должно повыситься на ~1 %. Результаты опыта это никак не объясняют.

Намного резче электросопротивление реагирует на атомы марганца, рассеянные поодиночке среди медных! Однако причина этого перестала быть загадкой только после разработки квантовой механики. Сначала измерением сопротивления стали пользоваться для отыскания твердых растворов, а лишь спустя несколько десятков лет удалось строго оправдать этот прием.

Когда речь шла об электронном микроскопе, уже говорилось, что «квантовый» электрон – не только частица, но и волна. Волновой характер электроны проявляют, когда размер препятствия на их пути порядка длины волны. Поэтому они дифрагируют, проходя через кристаллическую решетку из ионов, и, следовательно, движение электронов в кристалле надо рассматривать как распространение волн.

Объяснить такое поведение электронов можно при помощи аналогии с волноводами. В технике широкое распространение получили

волноводы. Для сантиметровых радиоволн ими служат полые металлические трубки. Для передачи световых волн используют световоды – трубки с зеркальными поверхностями. Отражаясь от них, световые волны все время остаются внутри трубки. Точно так же отражаются от гладких металлических поверхностей радиоволны. Но если поверхность волновода неровная, то волны как бы разбиваются о зазубрины, рассеиваются, и их энергия переходит в тепло.

Имеющиеся в кристалле атомные «коридоры» служат электронным волнам теми же волноводами. Поэтому в совершенном кристалле, где отсутствуют нарушения периодичности («зазубрины») электронных волноводов!), сопротивление движению электронной волны равно нулю. Этот неожиданный результат доказывается методами квантовой механики.

Вклад в электросопротивление дают только нарушения периодичности кристаллической структуры. Сразу становится ясной роль атомных колебаний. Они искажают правильные волноводы, что вызывает немедленный отклик – повышение электросопротивления. Чем выше температура, тем заметнее искажения и тем ниже проводимость.

Весьма чувствительно сопротивление и к вакансиям (так называют незаполненные атомами узлы кристаллической решетки). Их вклад в сопротивление, измеряемое при низких температурах (когда атомные колебания почти «выведены» из игры), настолько заметен, что таким образом удастся даже оценить их концентрацию.

И, конечно, очень резко влияют на сопротивление примеси. Где бы ни располагался атом примеси, он всегда нарушитель идеальных кристаллических форм. И лучше всего это «ощущает» электрон.

Если же атомы примеси собираются в отдельную фазу, то размеры нарушения кристаллической решетки становятся гораздо больше длины волны электрона. Поэтому частицы второй фазы «воспринимаются» электроном как самостоятельный проводник со своей кристаллической структурой. В этом случае суммарное сопротивление двухфазной смеси определяется обычными законами последовательных и параллельных соединений. Следовательно, если содержание примеси невелико, она гораздо сильнее влияет на сопротивление, находясь в твердом растворе.

На основании измерений электросопротивления Н. С. Курнаков установил, что твердые растворы – широко распространенный тип фаз. Это позволило подвести окончательные итоги давно смолкнувшей дискуссии: «В истории химии принято считать, что спор окончился победой Пруста... Но, несомненно, эта победа была лишь временной. В настоящее время совокупность данных физико-химического анализа позволя-

ет с полной уверенностью утверждать, что обе стороны правы в своих утверждениях, но точка зрения Бертолле является более общей».

В числе твердых растворов оказались всем известные стали, бронзы, латуни. Отмечая это, академик Н. С. Курнаков писал о выдающейся роли, «которую играют с отдаленных времен металлические растворы в технике и повседневной жизни. Название культурных периодов в истории человечества – «бронзовая эпоха», «век железа и стали» – соответствует умению обращаться с твердыми растворами олова в меди, никеля и углерода в железе».

Правила Юм-Розери. В 1966 г. в Женеве состоялся Международный коллоквиум, на котором обсуждались вопросы теории фаз в сплавах. Он был исключительно представительным – собрались ведущие металлофизики многих стран мира. По материалам докладов был выпущен сборник, который открывается знаменательными словами: «Книга посвящается профессору У. Юм-Розери, чьи труды превратили металловедение из ремесла в науку».

Чем же заслужил Уильям Юм-Розери (1899–1968) такое посвящение?

Взяв в руки один из толстых справочников по фазовым диаграммам и открыв его на нужной странице, вы сможете выяснить, как растворяются друг в друге разные металлы, распадаются или упорядочиваются твердые растворы, при каких температурах происходят фазовые превращения и т. д. И невольно возникает вопрос, а нельзя ли узнать что-либо о диаграмме без ее построения? Нельзя ли прогнозировать фазовое состояние сплавов, исходя только из свойств чистых компонентов? Уильям Юм-Розери первым попытался ответить на эти вопросы.

Очевидно, что для неограниченной растворимости друг в друге металлы должны обладать одинаковыми кристаллическими решетками. Но этого недостаточно. Одни пары металлов с одинаковыми решетками при достаточно высоких температурах образуют непрерывную область твердых растворов, а другие пары друг друга практически «не терпят», и предел растворимости в твердом состоянии очень мал. Почему это так?

Юм-Розери заметил, что для хорошей растворимости атомы обоих металлов не должны заметно отличаться по величине. И это вполне понятно. Представьте себе, что в кристаллическую решетку из теннисных мячей вы вставляете футбольный мяч. Это сразу вызовет ее искажения. И если футбольных мячей взять достаточно много, то кристаллическая решетка как таковая перестанет существовать. Можно сказать, что рас-

творимость футбольных мячей в теннисных очень низкая из-за неблагоприятного размерного фактора (так принято называть несоответствие атомных размеров). Проанализировав экспериментальные фазовые диаграммы, Юм-Розери заключил, что размерный фактор неблагоприятен, если атомный радиус растворенного элемента на 14–15 % больше, чем атомный радиус растворителя. В этом случае область твердых растворов на диаграмме сильно ограничена, т. е. предел растворимости достаточно низок (обычно не больше нескольких процентов).

Ну а если размерный фактор благоприятен? Это еще не гарантия хорошей растворимости. Например, элементы могут образовывать между собой химическое соединение с низкой свободной энергией, и тогда области твердых растворов «оттесняются» в углы диаграмм.

Пока речь шла о вещах более или менее очевидных. Но вот следующее наблюдение Юм-Розери заставляет взглянуть на образование фаз в сплавах совсем с другой точки зрения.

Юм-Розери предложил выражать концентрацию веществ в количестве валентных электронов на атом (обозначается e/a). Каждый из металлов, как известно, отдает часть своих электронов в общее владение всему кристаллу («коллективизирует», по Я. И. Френкелю). Они и называются валентными. За счет притяжения между ионами и валентными электронами и возникает специфическая металлическая связь.

Количество валентных электронов у атома данного металла зависит от его положения в таблице Менделеева и хорошо известно. У меди – один валентный электрон, у цинка – два, у алюминия – три, у олова – четыре. Подсчет концентрации веществ методом валентных электронов для фаз CuZn , Cu_3Al , Cu_5Sn дает поразительные результаты. Эти величины практически совпадают.

Случайными такие совпадения не бывают! Удалось также выявить и еще несколько характерных фаз, которым отвечает определенное значение электронной концентрации e/a . За ними так и закрепилось название «электронные фазы».

Первые наблюдения Юм-Розери датируются 1926 г. С тех пор предпринималось немало попыток пролить свет на тайны электронной концентрации. Но, несмотря на все усилия, полной ясности в этом вопросе нет и по сей день.

Открытие Юм-Розери имело два важных следствия. Во-первых, появилась возможность ограниченного прогноза фазовых диаграмм. А во-вторых, стало совершенно ясно, что истинные «художники» диаграмм – не нейтральные атомы, а электроны и ионы.

Несмотря на все сложности, такой подход получил, особенно в последнее время, широкое распространение. Ведь только на его основе возможно истинное прогнозирование свойств сплавов. Не в последнюю очередь его растущая популярность связана с появлением быстроедействующих компьютеров, которые делают реальным выполнение сложнейших расчетов.

Дефекты кристаллического строения. Под влиянием приложенных внешних усилий материал меняет свою форму – деформируется. Если обычную резинку растянуть, а затем отпустить, она сожмется до прежних размеров. Это пример упругой деформации. А вот пластилин, наоборот, «не помнит» своей первоначальной формы и легко принимает любые очертания. Такой вид деформации называется пластическим. Металлу свойственны оба этих вида деформации.

Способность к пластической деформации и сделала металлы столь популярными материалами. Помните определение металлов, данное Ломоносовым: «...тело, которое ковать можно»? Это и означает возможность придания металлу новой формы путем пластической деформации.

А как вообще происходит пластическое удлинение стержня? Может быть, увеличивается расстояние между атомами? Рентгеновская техника быстро проясняет этот вопрос: период решетки удлинившегося образца остается прежним.

Правдоподобнее выглядит иная схема удлинения. Ее обычно сравнивают с движением колоды карт при тасовании. Отдельные слои металла скользят друг по другу, создавая общее удлинение (рис. 5.30). В этом случае на боковой поверхности должны образоваться характерные микроступеньки. Они действительно появляются (впервые обнаружены в 1900 г.), и их можно увидеть в оптический микроскоп. На атомном уровне скольжение слоев металла сводится к взаимному сдвигу атомных плоскостей кристаллической решетки.

В металлах существует известный эффект твердорастворного упрочнения. Суть его заключается в том, что твердые растворы на основе практически любого металла оказываются всегда более твердыми, чем чистый металл. А теперь подумаем над причинами твердорастворного упрочнения. И вот первый плод размышлений: в твердом растворе замещения, в отличие от чистого металла, в узлах решетки расположены атомы разных сортов. А они, как мы знаем, отличаются по размерам. Следовательно, в атомных плоскостях возникают неровности, которые при сдвиге как бы увеличивают их «трение» друг о друга и тем самым

затрудняют скольжение. Можно даже сделать вывод (находящийся в соответствии с экспериментальными данными), что эффект упрочнения тем больше, чем больше разница атомных радиусов растворителя и растворенного элемента.

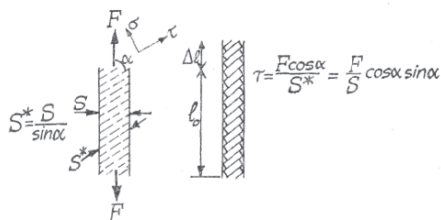


Рис. 5.30. Схема растяжения стержня

Все это логично и очень похоже на правду, но сегодня у специалиста-материаловеда вызовет лишь ироническую улыбку, потому что теории такого рода – дела давно минувших дней. Первым показал их несостоятельность советский физик-теоретик Яков Ильич Френкель.



Яков Ильич
Френкель
(1894–1952)

Вклад Я. И. Френкеля в современную физику твердого и жидкого состояний один из самых весомых. Притом все его работы несут на себе отпечаток неповторимого, чисто «френкелевского» подхода, суть которого прекрасно выразил известный физик, ученик Френкеля Ф. Ф. Волькенштейн: «Характерная особенность Френкеля заключается в том, что он – физик в самом глубоком смысле этого слова: именно физик, а не математик. Для него математика не представляла самодовлеющего интереса. Это лишь одежда, в которую одета физика.

Каждая работа Френкеля содержит в себе ту или иную физическую идею. Математика – это мясорубка, в которую обязательно должна быть заложена физическая идея для того, чтобы получилась физическая теория. Если такой идеи нет, можно без конца крутить ручку этой мясорубки, не получая ничего».

Идеи Френкеля часто облекались в яркие образы или красивые модели. Прекрасным образцом творчества Френкеля стала его классическая работа по прочности твердых кристаллических тел, без упоминания о которой не обходится буквально ни одна книга, связанная с этим вопросом.

Френкель предложил рассматривать сдвиг в твердом теле в духе модели твердых шаров (рис. 5.31). Сила, которую надо приложить, чтобы удержать верхний ряд шаров в сдвинутом относительно нижнего ряда положении, имеет в зависимости от смещения x периодический характер. Она обращается в нуль каждый раз, когда верхние шары находятся точно над нижними (неустойчивое равновесие) или попадают в ложбинки нижнего ряда (устойчивое равновесие).

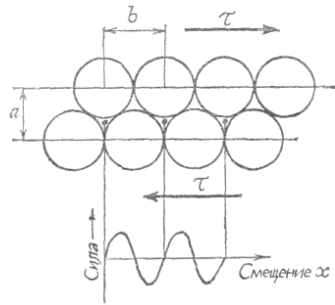


Рис. 5.31. Схема сдвига в металлах, предложенная Я. И. Френкелем

При сравнении рассчитанных данных с экспериментальными данными полученные результаты имеют значения критического напряжения на три с лишним порядка меньше, чем предсказывает теория!

Конечно, метод Френкеля – грубое приближение. Но три порядка разницы с экспериментом ставили на этой идее крест. Надо было не совершенствовать способ расчета, а искать другую физическую идею. Это означает, что наши теории твердорастворного упрочнения не верны.

Теория «забраковала» существовавшие представления о пластической деформации металлов, но она же указала и выход из тупика. Эксперимент в этом «разговоре формул» вел себя очень скромно и отстал на пару десятков лет.

В 1934 г. «на кончике пера» дефект удалось найти сразу трем теоретикам – М. Поляни, Э. Оровану и Дж. Тейлору. Искали они его порознь, но с одинаковым усердием. Назвали дефект дислокацией (рис. 5.32).

Ученые показали, что элементарным актом пластической деформации является зарождение и перемещение дислокации в объеме деформируемого металла под действием приложенных напряжений. Такая схема пластической деформации была названа схемой скольжения.

Скольжение (смещение) отдельных частей кристалла относительно друг друга происходит под действием касательных напряжений, когда эти напряжения в плоскости и в направлении скольжения достигают определенной критической величины.

Процесс скольжения не следует, однако, представлять как одновременное передвижение одной части кристалла относительно другой, как в схеме Френкеля. Такой жесткий или синхронный сдвиг потребо-

вал бы напряжений, в сотни или даже тысячи раз превышающих те, при которых в действительности протекает процесс деформации.

Незначительные перемещения атомов в области дислокации приводят к перемещению дислокаций на одно межатомное расстояние (рис. 5.33). Под действием касательных напряжений дислокация перемещается в плоскости скольжения путем указанных перемещений атомов.

Перемещение дислокации через весь кристалл приводит к смещению (сдвигу) соответствующей части кристалла на одно межплоскостное расстояние (рис. 5.33), при этом справа на поверхности кристалла образуется ступенька. Экстраплоскость как бы перейдет на поверхность верхней части кристалла, выдвинутой на один период решетки над нижней частью. Переход дислокаций из одного положения в кристаллической решетке в другое совершается значительно легче, чем переход атомного ряда на то же расстояние. Дислокации могут двигаться по плоскости скольжения в кристаллической решетке при очень малых напряжениях сдвига.

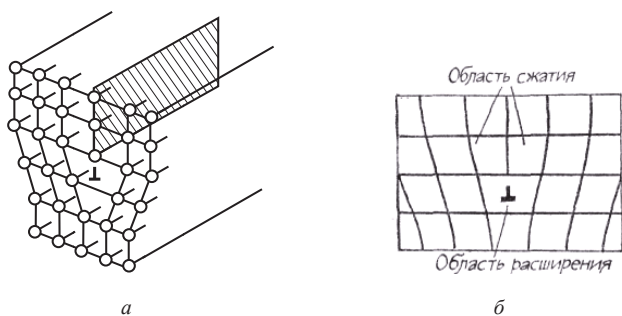


Рис. 5.32. Схема линейной дислокации (а) и распределение напряжений вокруг нее (б)

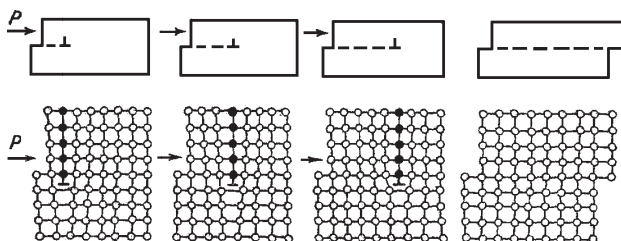


Рис. 5.33. Схема сдвига на один параметр решетки верхней части зерна относительно его нижней части при движении дислокации через всю плоскость скольжения

Такая схема сдвига из-за своей «постепенности» должна реализоваться при меньших значениях напряжений. Расчет удалось выполнить известным английским физикам Р. Пайерлсу и Ф. Набарро. Они доказали, что теоретическое значение критического напряжения сдвига действительно оказалось близким к экспериментальному. Не все ученые сразу доверились результатам умозрительных расчетов. Но с конца 40-х гг. стали появляться экспериментальные свидетельства существования дислокаций, подтвердившие прогнозы теоретиков. С этих пор дислокации «весомо, грубо, зримо» буквально вторглись в представления о металле. Слово «зримо» здесь играет не последнюю роль – дислокации действительно можно наблюдать в электронный микроскоп.

Сегодня существование дислокаций – установленный факт. А нас пока интересует вопрос: почему в твердых растворах дислокации сдвинуть с места труднее, чем в чистых металлах? Ведь именно в этом причина наступления бронзового века!

У конца лишней полуплоскости (он называется линией дислокации) образуются искажения кристаллической решетки. Под линией дислокации формируется область расширения, а над ней – сжатия (рис. 5.32, б). Атомы больших размеров и примеси внедрения стремятся туда, где решетка расширена. Легко понять, что это приводит к энергетическому выигрышу. Наоборот, примесные атомы, уступающие по размерам атомам матрицы, предпочитают область сжатия. В общем, любой компонент твердого раствора находит для себя подходящее место. В результате такого перераспределения вокруг линии дислокации образуется зона, обогащенная примесями. По имени металлофизика, который предсказал это явление, она называется атмосферой Коттрелла.

Для того чтобы дислокация начала двигаться, ее надо оторвать от окружающей ее атмосферы. Растворенные атомы при этом теряют свои «обжитые и удобные» места, что выражается в дополнительном энергетическом проигрыше. Поэтому для начала пластической деформации в твердом растворе и приходится прикладывать большие (по сравнению с чистым растворителем) усилия.

Исследования мартенсита. Словосочетание «закаленная сталь» шагнуло далеко за рамки металлостроения. А сам процесс закалки как магнитом притягивал к себе внимание людей.

Древние не умели исследовать металл и секреты закалки связывали со средой, в которой закалялась сталь. Зато уж тут фантазия «специалистов» по закалке не знала пределов. По одним рекомендациям раскаленный клинок следовало вонзить в тело мускулистого раба.

По другим – производить закалку в горном ущелье, где дуют сильные ветры. В XVIII в. американцы ввозили воду для закалки из Англии... и т. д. и т. п. За этими странными – по сегодняшним меркам – рецептам и стояло незнание: люди не могли объяснить, почему при закалке сталь становится тверже.

XIX в. приоткрыл завесу над тайной. На шлифах закаленной стали обнаружили образования, которые появлялись только после закалки. Они имели характерную игольчатую форму, которую ни с чем нельзя было спутать. Новую структурную составляющую назвали мартенситом. Чем больше его находили в стали, тем тверже она была. Значит, именно мартенситу закаленная сталь обязана своими уникальными свойствами. Но что такое мартенсит?

Путаница с мартенситом долгое время была изрядная. В 1926 г. американский металлург Альберт Совер (1863–1939) попытался раскрыть секреты мартенсита с помощью анкеты. 29 ведущим специалистам мира предлагалось ответить на несколько вопросов, связанных с закалкой стали. Из 29 избранных ответили 23.

Это был переломный момент в физике металлов, когда только начала применяться рентгеновская техника. Уже стали известными кристаллические решетки обеих модификаций железа – α и γ . Но мартенсит рентгеновской съемке еще не подвергался.

Первый пункт анкеты предлагал определить, в каком виде в мартенсите содержится железо и углерод. Для железа имелись всего три возможности: α -железо, γ -железо и смесь $\alpha + \gamma$. Все анкетированные проявили единодушие и сочли, что мартенсит имеет решетку α -железа.

Хуже обстояло дело с углеродом. Вариантов опять-таки не слишком много: чистый углерод, цементит и смесь углерода с цементитом. Однако ответы продемонстрировали разнообразие версий. Девять экспертов посчитали, что углерод присутствует в виде цементита, хотя некоторые выразили свое мнение с предельной осторожностью. Четверо придерживались противоположной точки зрения, ратуя за чистый углерод. Один анкетированный заявил, что присутствуют и чистый углерод, и цементит. Трое честно признались, что не знают. А оставшиеся проявили такую «аккуратность», что трудно понять, к чему они склоняются.

Большую согласованность вызвал вопрос о том, что такое мартенсит – химическое соединение, твердый раствор или смесь разных фаз. Почти все высказались за твердый раствор, хотя встречались и другие ответы.

Сторонники «твердорастворной» природы мартенсита в основном считали, что углерод (в виде цементита или в чистом виде) располагается в междоузлиях решетки α -железа. Но некоторые не исключали, что и в узлах.

Подводя итоги анкеты, Совер отмечал, что прогресс в понимании природы мартенсита за последние 30 лет сравнительно невелик. А ему было с чем сравнивать. В 1896 г. тот же Совер уже проводил аналогичную анкету. Это была вторая.

Почти одновременно с анкетой были выполнены работы, в которых с помощью рентгеновских лучей структуру мартенсита удалось расшифровать. Оказалось (в соответствии с мнением большинства), что мартенсит – это твердый раствор углерода в α -железе.

Итак, туман, плотно покрывавший структуру и свойства закаленной стали, постепенно рассеивается. Но по-прежнему совершенно неясным осталось то, как при закалке атомы железа успевают перестроиться из ГЦК- в ОЦК-решетку?

Выдающуюся роль в раскрытии загадок мартенсита сыграл советский ученый Георгий Вячеславович Курдюмов. Начиная с 1927 г. в длинной серии работ он выяснил особенности структуры мартенсита и механизма его возникновения. Это было достойным продолжением науки о сталях, основы которой в России заложили П. П. Аносов и Д. К. Чернов. В 1953 г. Г. В. Курдюмов был избран действительным членом Академии наук СССР.



Георгий Вячеславович
Курдюмов
(1902–1996)

Академик Г. В. Курдюмов стал основателем авторитетнейшей научной школы. При его непосредственном участии возникли Институт физики металлов и металловедения при Центральном научно-исследовательском институте черной металлургии и Институт физики твердого тела Академии наук СССР (ныне Российской академии наук). Оба они сегодня находятся в авангарде мировой науки о металлах и их сплавах.

Закалка, проведенная непосредственно под микроскопом, показала, что кристаллы мартенсита вырастают в аустенитной матрице с колоссальной скоростью, почти мгновенно. Сам процесс роста мартенситной иглы можно наблюдать лишь с помощью ускоренной кино- или видеосъемки.

Процесс образования первого мартенситного кристалла обусловлен его кристаллогеометрическим соотношением с исходным аустени-

том. Рост кристалла мартенсита может осуществляться только в нескольких определенных направлениях и происходит за очень короткое время. Первый кристалл, как правило, растет со скоростью порядка 5 000 м/с и пересекает исходное зерно аустенита от края до края (рис. 5.34, *a*).

Следующим этапом роста является поперечное расширение мартенситного кристалла (рис. 5.34, *б*). Однако этот процесс вызывает значительные деформации аустенита, непосредственно прилегающего к границе раздела. Эти деформации проявляются в виде повышенной плотности дислокаций на границе мартенситного кристалла. При достижении плотности дислокаций на границе «мартенсит-аустенит» до 10^{12} 1/см² происходит нарушение когерентности межфазной границы. Таким образом, завершается формирование мартенситного кристалла, причем средняя плотность дислокаций в нем самом составляет порядка 10^{10} 1/см².

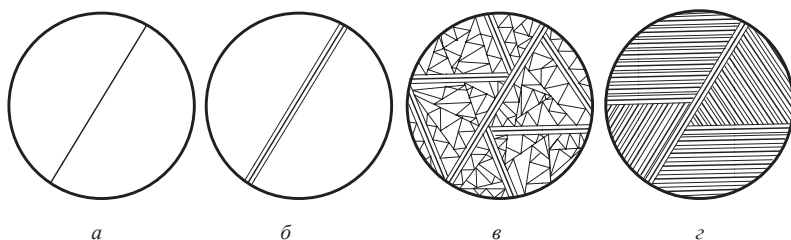


Рис. 5.34. Строение мартенсита: *a* – первый мартенситный кристалл; *б* – увеличение ширины мартенситного кристалла; *в* – пластинчатый мартенсит; *г* – реечный мартенсит

При исследовании микроструктуры закаленной стали мартенситный кристалл выглядит как тонкая прямолинейная «игла», представляющая собой поперечное сечение мартенситной пластины плоскостью шлифа. После формирования первого кристалла, разделяющего зерно аустенита на два отсека, начинается рост нескольких новых мартенситных кристаллов. В зависимости от того, как будет осуществляться этот рост, принято выделять пластинчатый или реечный мартенсит (рис. 5.34, *в*, *г*).

Высокая твердость мартенсита объясняется главным образом влиянием внедренных атомов углерода в решетку α -железа, созданием микро- и субмикроскопической неоднородности строения с равномерным ее распределением по объему, т. е. большим числом нарушений кристаллического строения. Каждый кристалл мартенсита состоит из

большого числа блоков, размер которых значительно меньше, чем в исходном аустените. Дробление блоков происходит вследствие больших микронапряжений, возникающих в результате объемных изменений при $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращении. Поверхности раздела кристаллов мартенсита и особенно границы блоков представляют собой трудно преодолимые препятствия для движения дислокаций. Все это и определяет высокую твердость стали, имеющей мартенситную структуру.

Старение сплавов. Сегодня среди металлов по выплавке алюминий уверенно удерживает второе место (вслед за железом). Ни у кого нет сомнений в важности и нужности этого легкого материала. Но долгое время отношение к нему было весьма сдержанным: «Что же можно ожидать от металла, который разрушается слабыми щелочами и кислотами, в то время как едва ли существует жидкость, не содержащая несколько кислоты или щелочи и поэтому легко разрушающая прекрасную наружность алюминия или уничтожающая всю его массу. Чай, вино, пиво, кофе и все плодовые соки уничтожают алюминий, и даже пот снимает с него палитру, обращая часть металла в обыкновенный глинозем.

Следовательно, алюминий сам по себе не представляет больших надежд на употребление в дело. Но вполне может быть, что он доставит пользу в виде сплавов».

Это характеристика алюминия из книги «Подвиги человеческого ума», вышедшей в 1870 г. Судя по тону изложения, кажется странным, что алюминий вообще попал в книгу с подобным названием. Однако последняя фраза оказалась пророческой.

В начале века немецкий химик Альфред Вильм (1869–1937) возглавил сектор металлургии в исследовательском институте, расположенном в пригородах Берлина. Он экспериментировал, пытаясь найти высокопрочный сплав алюминия, и в сентябре 1906 г. испытывал очередной сплав, в который, помимо алюминия, входило 4 % меди и по 0,5 % марганца и магния. Никаких особенных оснований рассчитывать на успех не было.

Прочность сплавов оценивали по измерениям твердости.

В час дня в субботу твердость была измерена и составила 70 (условных единиц). После этого все сотрудники отправились проводить выходной в Берлин. Немцы – люди аккуратные, и, поскольку в предвкушении отдыха измерения могли быть проведены недостаточно тщательно, в понедельник Вильм распорядился их повторить. К всеобщему удивлению, твердость составляла уже 100. Субботняя ошибка? Нет, так как в последующие дни твердость продолжала возрастать.

Ситуация выглядела довольно странной. Представьте, что перед вами лежит кусок металла, который внешне совершенно не меняется, но по прошествии дней становится все прочнее и прочнее. Как будто внутри металла работают невидимые строители и, не торопясь, цементируют слабые места в здании кристалла.

Эффект самопроизвольного упрочнения сплавов назвали старением. Ни сам Вильм, ни другие специалисты не знали, чем он вызван. Но среди алюминиевых сплавов стареющие выделялись по прочности, и это Вильм быстро использовал: рецепт сплава был запатентован. А в 1911 г. немецкие промышленники уже выпустили первую партию сплава Вильма, который нарекли дюралюминием, или дюралюмином, по названию города Дюрена, где развернулось его производство. Во время Первой мировой войны сплав уже активно использовался – из него изготавливали детали немецких цеппелинов. Так дюралюмин предвосхитил судьбу своих более поздних собратьев – других алюминиевых сплавов. Сочетание прочности и легкости сделало их ведущим материалом в самолетостроении.

Между тем и после Первой мировой войны сплав Вильма продолжал будоражить воображение исследователей. В 1918 г. упоминавшийся нами металлург Альберт Совер докладывал в комиссии американских военно-воздушных сил, что данный сплав уникален и его аналогов не существует. Лишь в 1919 г. другой американец, Поль Мерица (1889–1957), работавший в Национальном бюро стандартов в Вашингтоне, приблизился к разгадке секрета. Он экспериментально построил кривую растворимости меди в алюминии. Она

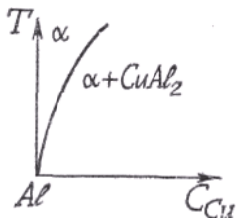


Рис. 5.35. Участок диаграммы состояния Al-Cu

имела хорошо знакомый нам вид (рис. 5.35). При охлаждении до комнатной температуры сплав должен переходить в двухфазное состояние. Но в большинстве сплавов в этих условиях диффузия заторможена и α -твердый раствор практически не распадается. А в алюминиевых распадается, но по тем же причинам очень медленно. Сплав стареет. Постепенно в течение часов и дней формируются выделения второй фазы. Каждое выделение твердой фазы со своей кристаллической решеткой (соединения CuAl_2) служит препятствием для движения дислокаций.

Конечно, в 1919 г., когда была построена диаграмма состояния системы медь – алюминий, о существовании дислокаций в металле еще

и не подозревали. Однако было понятно, что появление твердых частиц промежуточной фазы CuAl_2 в теле твердого раствора делает его намного прочнее.

Когда был раскрыт принцип старения, то нашли много стареющих сплавов. Правда, как правило, пользуются не естественным старением при комнатной температуре, а искусственным, когда сплав выдерживают в печи при температуре 200–400 °С (но обязательно под линией растворимости!). Так процесс происходит быстрее.

5.9. Новые материалы в промышленности

Быстрорежущая сталь. С развитием металлургии широкое развитие получили исследования взаимосвязи структуры сплавов на основе железа и их свойств. Но еще до познания этой связи химики и металлурги эмпирическим путем создали стали с особыми свойствами. Затраты на эти работы были значительными.

Более двух десятилетий продолжались систематические исследования, которые проводили два американца, прежде чем они смогли представить специалистам новую инструментальную сталь, превосходящую по своим свойствам все ранее известные стали. На Всемирной выставке 1900 г. специалисты впервые услышали о быстрорежущей стали Фредерика Винслоу Тейлора (1856–1915).

Выставка проводилась в Париже и по своему великолепию должна была превзойти все виданное до сих пор. Это должно было быть супершоу искусства и культуры, науки и технического прогресса. Так было задумано. Взоры всего мира были обращены к Парижу, и тот, кто это мог себе позволить, отправлялся туда.

При таком обилии мнимых и истинных сенсационных достижений те или иные новшества, которые неминуемо должны были оказать воздействие на целые технические области или даже революционизировать их, узнавались и по достоинству оценивались только специалистами. К таким новшествам, безусловно, относились инструментальные стали фирмы «Бетлехем Стил», внедрение которых в значительной степени способствовало техническому прогрессу.

Фредерик Тейлор и его друг, химик по образованию и призванию, Монсель Уайт работали на сталеплавильных заводах фирмы «Бетлехем Стил» в Филадельфии – крупнейшем городе штата Пенсильвания (США). Неожиданности были связаны с вольфрамом, которым уже ле-

гировали инструментальную сталь. Идея дополнительно легировать эту сталь еще и хромом родилась по особым причинам.

Во второй половине XIX в. промышленные страны начали беспрецедентную гонку вооружений. Образовались крупные концерны, занимавшиеся производством оружия, во главе которых стояли такие промышленники, как Армстронг в Англии, Шнейдер и Крезо во Франции, Крупп в Германии, Карнеги в США. Эти концерны выпускали пушки и бронированные колпаки, морские артиллерийские орудия и военные корабли. Потребность в снарядах, торпедах и стрелковых боеприпасах выросла до беспредельных размеров и везде требовалась сталь, сталь, сталь...

Чем качественнее была сталь, тем лучше было оружие. Особенно заметную роль качество стали играло в соревновании между броней и снарядом. И для того, и для другого начали применять легированную сталь, как только она появилась. Во Франции Я. Хольтцер рекомендовал и для брони, и для снарядов применять сталь, легированную хромом. Еще на Всемирной выставке 1878 г. металлургическая общественность узнала, что хромистая сталь превосходит все ранее созданные и применявшиеся: такую закаленную сталь не брала никакая другая. Это и натолкнуло Тейлера и Уайта на мысль легировать вольфрамовую сталь хромом. Новая чудо-сталь содержала не менее восемнадцати процентов вольфрама и четыре процента хрома. Толпы специалистов заполняли механическую мастерскую, когда шла демонстрация этой стали. С восхищением они наблюдали, как раскаленный докрасна резец из этой стали не терял стойкости при обработке заготовки из другой стали. Скорости резания были в четыре раза выше обычных. Восторгам не было конца. Так начал свое победоносное шествие резец из быстрорежущей стали. Однако вскоре появились и первые критические высказывания. Дело было в том, что из-за резкого увеличения скорости резания начали выходить из строя и разрушаться токарные станки, не имевшие необходимого запаса прочности. Замена изношенных подшипников и ходовых винтов требовала затрат, превосходивших прибыль, которую давало применение повышенной скорости резания. Потребовалось полное обновление парка токарных и фрезерных станков, причем станки строились более тяжелые, с большим запасом прочности.

Сталь Гадфильда. Во второй половине XIX в., когда литая сталь пришла на смену сварочному железу, и чугун, и сталь начали в большей степени, чем когда-либо, определять технический прогресс, люди очень мало знали о причинах превращения железа в сталь и еще меньше о ме-

ханизме действия легирующих элементов. Постепенно наука проникала в тайны металлургии. Была создана основанная на работах Реомюра и Чернова теория закалки сталей, прочное место завоевал химический анализ, были введены механические испытания материалов, стальные конструкции начали рассчитывать, а не изготавливать на глаз. И, тем не менее, было очень много непознанного, и пробирование преобладало над штудированием, т. е. практика преобладала над наукой, однако пробирование осуществляли теперь более систематизированно.

Человек, который в течение длительного времени занимался систематическим пробированием и делал это особенно успешно, был англичанином. Его имя – Роберт Абот Гадфильд (1858–1923). Гадфильд легировал сталь самыми различными элементами, как до него это делали множество ученых. Он изготовил и исследовал множество самых различных сплавов. Один из них оказался главным и сделал Гадфильда знаменитым. В то время ему не было и двадцати пяти лет. Сталь Гадфильда, как ее вскоре стали называть, содержала не меньше 12 % марганца и оказалась первой в ряду необычных сталей.

Это была поистине счастливая минута Роберта Гадфильда, когда он установил, что марганцовистая сталь совершенно не похожа на все другие. Вместе со своим ассистентом он попытался подвергнуть закалке откованный образец. Раскалив образец добела, он опустил его в чан с водой, а когда извлек из чана, обнаружил, что сталь стала не тверже, как все стали после закалки, а мягче. Но это была не единственная неожиданность, которую приготовила сталь своему создателю и специалистам. Гадфильд даже рассердился на своего ассистента, когда тот во второй половине того же дня вбежал в плавильное отделение, где шла очередная плавка, и стал утверждать, что новая сталь не поддается ни токарной обработке, ни фрезерованию.

Выяснилось, что тупятся резцы из самых лучших инструментальных сталей. Эту сталь невозможно ни резать, ни фрезеровать, ни строгать.

Образец марганцовистой стали все еще был зажат на токарном станке. Ассистент включил его, и в тот момент, когда резец достиг образца, раздался сильный скрежет, от которого Роберт вздрогнул и махнул рукой ассистенту, чтобы тот прекратил обработку.

В последующие дни и недели Гадфильд и его ассистент практически не покидали завод. Они испытывали на ковкость различные стали, содержавшие до 20 % марганца. Предпринимались попытки закалять сталь Гадфильда в различных средах, но тщетно. Она оставалась мяг-

кой. Когда ее подвергали холодной ковке, то участки, на которые приходились удары молота, становились твердыми, и чем больше была степень деформации, тем тверже становилась сталь. При обработке напильником наблюдалось аналогичное явление. Сопrotивление металла под напильником росло по мере надавливания: чем сильнее был нажим, тем больше сопротивление. Проведя все эти исследования, Гадфильд и его помощник перестали удивляться поведению стали при обработке со снятием стружки.

В 1883 г. Роберт Гадфильд запатентовал марганцовистую сталь. Вокруг разгорелись страсти. Многие не верили в необычные свойства стали и предполагали обман или некомпетентность. Но факты оставались фактами, а человечество получило сталь, сопротивляемость которой нагрузкам росла по мере их увеличения. Это был идеальный материал для сейфов, предохранительных решеток, для высоконагружаемых деталей машин и подверженных усиленному износу участков машин и механизмов. Но вряд ли кто сегодня вспомнит изобретателя марганцовистой стали, когда, например, едет в трамвае и тот со скрежетом и визгом проходит по стрелкам или круто поворачивает.

Роберт Гадфильд, без сомнения, принадлежит к плеяде тех последних крупных изобретателей нового времени, в которых органически сочетались стремление к техническому прогрессу и капиталистическое предпринимательство. Его имя неразрывно связано с внедрением в технику специальных легированных сталей. Сталь Гадфильда является первой аустенитной сталью, примененной на практике.

Никелевые стали. Многие отрасли промышленности испытывали потребность в высококачественных сталях. Уже во время Крымской войны союзный флот использовал деревянные корабли, бронированные стальными плитами, а в 1861 г. со стапелей английской верфи сошел первый военный корабль, полностью изготовленный из стали. Это был «Warrig», т. е. «Воин», за которым последовали корабли, бронированные не только более толстыми стальными плитами, но и плитами из стали, легированной хромом и никелем. Особенно ценные свойства придали стали никель, поэтому никелевые стали успешно конкурировали с хромистыми.

На весенней 1889 г. сессии *Iron and Steel Institute* инженер Джон Райли из Глазго сделал сообщение о созданной им никелевой стали. Ровно десять лет прошло с того дня, когда с этой же трибуны Сидни Джилькрист Томас обнародовал свой способ продувки чугуна. Джон Райли присутствовал при этом и тоже выступал с сообщением, в ко-

тором говорилось о способе продувки чугуна, сходном с томасовским. Заявки на аналогичные методы поступали и от других изобретателей. В споре за приоритет изобретатели боролись прежде всего за финансовые интересы, а не за славу. В качестве третьей стороны для решения спора пригласили авторитетного голландского физика сэра Уильяма Томсона, жившего в Глазго. По его решению Джону Райли отчислялось 12,5 % из прибыли, которую приносил томасовский процесс внутри страны, и 15 % от прибыли, получаемой за ее пределами. Эти проценты сделали его богатым человеком, а слава тогда пришла к Сидни Томасу.

Джон Райли не был выдающимся оратором, но сумел так представить результаты своих исследований, что специалисты живо заинтересовались его данными. Он привел характеристики прочности, которые вызвали удивление, смешанное с недоверием. Двухпроцентная никелевая сталь была почти в четыре раза прочнее обычного сварочного железа при вязкости, значительно превышавшей вязкость хромистых сталей. При увеличении содержания никеля в стали ее свойства становились еще лучше. Более всего от этого соревнования в создании качественных сталей выиграла военная промышленность, в частности промышленность, поставлявшая броневые плиты. Джон Райли прокатывал на заводе фирмы «Блочер Стил» броневые плиты из никелевой стали для английского военно-морского флота.

Во Франции, России, Германии, где также началось широкое производство и применение никелевых сталей, из них изготавливали конструкции и детали машин, испытывающие высокие и сверхвысокие по тем временам нагрузки. Для подшипников применяли хромистую и хромоникелевую сталь.

Сталь превратилась в тысячеликкий материал. Однако изделия из нее имели один существенный недостаток: их рано или поздно съедала ржавчина. Особенно быстро ржавчина разрушала сталь в морской атмосфере, поэтому корабли постоянно требовали окраски для защиты от коррозии. Обычно не успевали закончить окраску, как ее надо было начинать сначала. Кисть у матроса стала одним из основных рабочих инструментов. На суше ситуация была немногим лучше, особенно в промышленных районах, где «красный дьявол» бесследно уничтожал громадные ценности. Почему же сталь не сопротивляется коррозии так, как благородные металлы? Этот вопрос стал вызовом науке, которая в это время делала свои первые шаги в области специальных сталей.

В конкурентной борьбе крупных сталеплавильных концернов наука постепенно занимала все более прочное положение. Вскоре уже

никто не удивлялся, если фирмы создавали собственные исследовательские лаборатории и даже целые институты. Миновали времена, когда владелец завода определял технический прогресс, а это было особенно характерно для черной металлургии, начиная с Бенджамина Гентсмана и кончая Аботом Гадфильдом. Химический анализ исходных материалов, т. е. руд, топлива и добавок, а также готовых изделий, стал обычным делом на металлургических заводах. Затем были введены испытания физических и механических свойств материалов, а также анализ микроструктуры, что способствовало значительному улучшению качества продукции и одновременно стало основой современной науки о металлах.

В 1909 г. первым ассистентом в химико-физической научно-исследовательской лаборатории фирмы Фридриха Круппа был назначен Эдуард Маурер (1886–1969). Свою докторскую степень он получил менее месяца назад в Высшей технической школе в Аахене. Молодой человек прожил целый год в Париже, работая в Сорбонне у знаменитого Ле Шателье, которому металлургия железа обязана значительными открытиями. Вполне очевидно, что парижский период жизни был во многом поучительным для Эдуарда Маурера, и он его хорошо использовал. Свою новую должность в лаборатории молодой человек занял, будучи отлично подготовленным.

В 1912 г. Маурер и его непосредственный руководитель профессор Штраус добились большого успеха. Уже в течение нескольких лет они изучали стали, легированные хромом и никелем. Их интересовало влияние на свойства стали различных режимов термической обработки. Опытная сталь, обозначенная «2А», после определенной термической обработки приобретала свойства, невиданные до сих пор. При нагреве выше 1 000 °С и закалки в воде сталь становилась нержавеющей и в определенной степени кислотостойкой. Эта сталь и марганцовистая сталь Гадфильда оказались близкими родственниками. Сталь V2A, как ее и сегодня называют (сто лет спустя после изобретения), представляет собой аустенитную сталь с таким же расположением атомов в кристаллической решетке железа, как и у марганцовистой стали. В состав ее входит 18 % хрома и 8 % никеля. За ней последовали другие легированные стали, обладающие все более неожиданными свойствами.

Сталеплавильщики превратились в волшебников, путем легирования получая нержавеющие и кислотостойкие, жаропрочные и окалиностойкие, хладостойкие и другие стали. Казалось, все возможно, и, когда химической промышленности потребовалась сталь, устойчивая

в условиях воздействия высоких температур и повышенных давлений водорода, металлурги создали ее, как сегодня создают стали для ядерной техники.

В 1925 г. Эдуард Маурер принял кафедру металловедения во Фрайбергской академии. После Второй мировой войны он был назначен директором Научно-исследовательского института черной металлургии в Берлин-Хеннигсдорфе и использовал все свои знания, опыт и авторитет для создания черной металлургии Германской Демократической Республики.

Инструменты из сверхтвердых материалов. В конце XIX – начале XX в. в ряде стран широко развернулись исследования по получению новых инструментальных материалов. В результате этих исследований в 20-х гг. созданы твердые сплавы – износостойкие металлические материалы с весьма большой твердостью, сохраняющейся на достаточно высоком уровне при нагреве до 900–1 000 °С. Были получены два типа твердых сплавов: литые и порошковые.

Твердосплавный инструмент привел к большим техническим преобразованиям в металлообрабатывающей промышленности. Его использовали для изготовления металлорежущих инструментов. Здесь применение твердых сплавов несколько ограничено их хрупкостью, однако при чистовых обработках использование твердых сплавов крайне эффективно и позволяет существенно повысить производительность обработки.

Кроме того, твердые сплавы фактически совершили переворот в волочильном производстве. В результате их применения в несколько раз повысилась производительность волочильного оборудования, возросли скорости и изменилась технология волочения, повысилось качество продукции, улучшились условия труда.

Инструменты из литых твердых сплавов. Из применявшихся в начале XX столетия литых твердых сплавов необходимо отметить два основных вида – стеллиты и литые карбиды.

Стеллиты представляют собой кобальтохромовольфрамовые сплавы, хорошо сохраняющие прочность при высоких температурах. Твердость стеллитов составляет 57–67 единиц по Роквеллу. Стеллиты применялись для изготовления инструмента до появления более совершенных литых карбидов.

К числу литых карбидов, нашедших применение в промышленности, относятся воломит и эльмарид. Литые карбиды исследованы перед Первой мировой войной Г. Ломаном (Германия). Наиболее твер-

дым из них оказался карбид вольфрама, на основе которого позже получен сплав, названный воломитом. Содержание вольфрама в воломите колеблется от 70 до 95 %, остальное составляют кобальт, никель, хром, железо и углерод.

Несмотря на ряд положительных качеств, инструменты из литых карбидов обладали и существенными недостатками: пористостью и небольшой механической прочностью. Поэтому в 20-х гг. была разработана новая технология получения твердых сплавов методом спекания порошков, быстро распространившаяся в производстве.

Инструменты из спеченных твердых сплавов. Основу этих сплавов составляет спеченный карбид вольфрама, сцементированный добавкой небольшого количества кобальта. В конце 20-х гг. в ряде стран появились близкие по химическому составу спеченные твердые сплавы: в Германии под названием видиа, в США – карболой и в СССР – победит.

Полученный в СССР в 1929 г. твердый сплав победит оказался высокоэффективным материалом для инструмента. По данным одного из советских заводов, пропускная способность волоки из победита с диаметром отверстия 5,0 мм составила до 90 т проволоки, причем износ отверстия не превышал 0,05 мм.

Твердые сплавы изготавливают путем спекания смеси порошков карбидов и кобальта или других соответствующих компонентов. Порошки предварительно изготавливают методом химического восстановления (1–10 мкм), смешивают в соответствующем соотношении и прессуют под давлением 200–300 кгс/см², а затем спекают в формах, соответствующих размерам готовых пластин, при температуре 1 400–1 500 °С в защитной атмосфере. Такая технология изготовления твердосплавных пластин называется порошковой металлургией.

Алмазный инструмент. Одним из факторов, оказавших влияние на масштабы и развитие алмазного инструмента, было появление машин многократного волочения проволоки, экономическая эффективность которых резко повысилась в результате применения алмазных фильер. Другой важный фактор – резко возросший в конце XIX в. спрос на проволоку для проводов и кабелей, нитей накала электрических ламп, а также специальных видов проволоки, отличающейся строго определенным диаметром и качеством поверхности по длине.

С середины XX в. алмазный инструмент стали применять при обработке материалов на металлорежущих станках.

В течение последних 100 лет резко возрос спрос на технические алмазы. Доля технических алмазов в общем объеме их добычи в мире превышает в настоящее время 80 %. С 50–60-х гг. наряду с природными алмазами для изготовления инструмента стали применять синтетические алмазы. Фильеры из синтетических алмазов обладают высокой износостойкостью. Так, через фильеры, изготовленные из алмаза марки АСБ-5, протягивается до 1 850 т медной проволоки диаметром 1,76 мм (вместо 50 т для твердосплавных волок).

Обработка алмазов сопряжена с большими трудностями, связанными с их высокой твердостью. Поэтому в технологию обработки алмазов в последние полвека были введены крупные технические новшества. Традиционная технология, основанная на механических принципах сверления и обработки отверстий в заготовках алмазных фильер, пополнилась принципиально новыми высокоэффективными способами. В 60-х гг. получил распространение комбинированный способ, включающий электроэрозионное сверление канала фильеры и механическую доводку полученного отверстия до строго заданных размеров с последующей шлифовкой и полировкой его поверхности с помощью абразивов. Примерно в те же годы был создан способ сверления алмазов, основанный на ультразвуковой обработке.

Еще более эффективным оказался способ обработки алмаза с помощью лазерного луча. Применение лазера для обработки алмазов и других сверхтвердых материалов началось в СССР в 60-х гг. Лазерный луч в точке приложения имеет температуру 5 500–9 000 °С, что позволяет расплавлять и превращать в пар любой из существующих в настоящее время материалов. Этот процесс обладает высокой производительностью.

Глава 6. НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

В последней главе пособия нам хотелось бы рассказать о некоторых перспективных материалах и технологиях. Однако сразу надо оговориться, что перспективные – это не значит только что изобретенные или, наоборот, непременно уже внедренные на предприятиях отечественной или зарубежной промышленности. Многие вопросы, рассмотренные в этой главе, известны уже на протяжении многих лет. Некоторые из них уже применяются в различных отраслях техники, но обладают таким потенциалом для дальнейшего развития или модернизации, что не перестают быть перспективными. Другие, также известные давно, до сих пор не внедрены в широкую практику ввиду каких-либо обстоятельств, среди которых главным, наверное, является экономическая составляющая, т. е. пока соответствующие материалы или технологии остаются слишком дорогими. Есть группы технологий и материалов, являющиеся результатом самых недавних исследований и научных разработок последних лет. Утверждать сейчас, что те или иные новые технологии или материалы непременно станут всеохватывающими, трудно, а зачастую невозможно, однако о перспективности некоторых технологий можно судить уже сейчас.

Из этой краткой характеристики перспективных технологий становится ясно, что охватить их все в рамках нашего учебного курса не представляется возможным. Поэтому в этой главе будет сделан обзор только некоторых, избранных вопросов, которые по разным причинам показались авторам интересными и заслуживающими внимания.

6.1. Технология бактериального выщелачивания металлов

С биологическими процессами связан один из современных способов добычи цветных металлов. В начале XX в. в Америке были закрыты медные рудники в штате Юта: решив, что запасы руды уже иссякли, хозяева рудников затопили их водой. Когда спустя два года воду откачали, в ней оказалось 12 000 т меди. Подобный случай произошел и в

Мексике, где из заброшенных рудников, на которые все махнули рукой, только за один год было «вычерпано» 10 000 т меди.

Откуда же берется эта медь? Ученым удалось найти ответ. Среди многочисленных видов бактерий есть такие, для которых любимым лакомством служат сернистые соединения некоторых металлов. Поскольку медь в природе обычно связана с серой, эти бактерии равнодушны к медным рудам. Окисляя нерастворимые в воде сульфиды меди, микробы превращают их в легкорастворимые соединения, причем процесс протекает очень быстро. Так, если при обычном химическом окислении за 24 дня из халькопирита (одного из медных минералов) выщелачивается лишь 5 % меди, то в опытах с участием бактерий за 4 дня удалось извлечь 80 % этого элемента. Как видите, сравнение технико-экономических показателей явно в пользу микротружеников. Оговоримся, что в описанном случае им были созданы практически идеальные условия для работы: температура среды колебалась от 30 до 35 °С, минерал был измельчен и постоянно перемешивался с раствором. Но есть немало экспериментальных данных, свидетельствующих о неприхотливости бактерий: они охотно занимались любимым делом даже в суровых условиях Севера, например на Кольском полуострове.

Особенно полезно участие бактерий на завершающей стадии эксплуатации рудников: ведь в выработанных месторождениях, как правило, еще остается от 5 до 20 % руды. Но добыча этих остатков не оправдывается экономически, а подчас и вовсе невозможна. А вот бактериям ничего не стоит добраться до медных кладбищ и подобрать все крохи с барского стола.

Микроорганизмы можно использовать и для переработки отвалов. На мексиканском месторождении Кананеа, где добыча меди ведется уже более ста лет, возле шахт скопились огромные отвалы породы – десятки миллионов тонн. И хотя содержание меди в них было совсем незначительным, их попробовали орошать шахтной водой, которая затем стекала в подземные резервуары. Из каждого литра этой воды удалось извлечь по 3 грамма меди. Всего же только за месяц из «ничего» было добыто 650 т металла.

Несмотря на то что бактериальное выщелачивание руд известно с начала XX в., впервые эта технология была запатентована в США в 1958 г. применительно к извлечению меди и цинка.

Бактерии «зачислены в штат» некоторых горнорудных предприятий и в нашей стране. Первая опытная установка по бактериальному выщелачиванию меди начала действовать еще в 1964 г. на одном из

крупнейших рудников Урала – Дегтярском. Здесь около отработанных карьеров и в отвалах обогатительной фабрики за много лет образовалось новое «месторождение» бедной медной руды. Ее-то и отдали во власть микроорганизмов. На их трудолюбие жаловаться не приходилось: дополнительно была добыта не одна тонна ценного металла. Сейчас в Дегтярске сооружена уже промышленная установка. В настоящее время широко используется бактериальное выщелачивание на предприятии «Полюс-золото» в Красноярском крае. Массовое «оформление» бактерий на работу происходит и на других предприятиях Урала и Сибири.

Таким образом, благодаря бактериальному выщелачиванию, т. е. избирательному извлечению химических элементов из многокомпонентных соединений посредством их растворения микроорганизмами в водной среде, появляется возможность извлекать из руд, отходов производства и т. д. ценные компоненты (медь, уран и др.) или вредные примеси (например, мышьяк в рудах черных и цветных металлов).

6.2. Высокоэнергетические способы обработки материалов

Технический прогресс постоянно способствует поиску новых способов обработки материалов. Наиболее прогрессивные способы связаны с увеличением плотности энергии, применяемой для обработки заготовок или изделий, т. е. относятся к так называемым высокоэнергетическим способам производства.

Широкое распространение в промышленности получили установки электрошлакового переплава (ЭШП), плазменные и электронно-лучевые печи, печи плазменно-дугового и вакуумно-дугового переплава, установки для левитационной плавки металлов.

Причем все эти способы могут применяться в различных отраслях промышленности: в металлургии – для удаления из слитков вредных примесей, в литейном производстве – для получения качественных отливок, в сварочном производстве – для сварки самых разнообразных изделий.

Электрошлаковый переплав. В 1948 г. в Запорожье во время сварки под слоем флюса кожуха доменной печи (при ее ремонте) горение электрической дуги внезапно прекратилось. А приборы показывали, что ток идет и сварка продолжается. Это было совершенно неожиданно. Был сделан вывод, что выделяющегося под действием тока джоулева

тепла под слоем флюса достаточно, чтобы расплавлять металл. Так был открыт новый способ бездуговой электросварки – электрошлаковый.

Когда же был исследован металл сварного шва, то оказалось, что по качеству он был превосходным, в нем не было пор, рыхлот и трещин, газовых раковин и неметаллических включений.

Тогда и родилась идея: проплавлять под шлаком слиток. Идея оказалась весьма плодотворной. В 1958 г. на заводе «Днепроспецсталь» в Запорожье была пущена в работу первая в мире печь электрошлакового переплава (ЭШП). Затем был построен целый цех ЭШП. Французские, японские, шведские и американские фирмы закупили в СССР лицензии на установки ЭШП.

Но печи ЭШП дают лишь слитки высококачественной стали, которые затем нужно обрабатывать давлением или резанием. А нельзя ли сразу получать таким путем готовые отливки? Ученые института электросварки им. Е. О. Патона решили и эту задачу. Капли растворяющегося металла от расходуемого электрода, пройдя через шлаковую ванну, попадают теперь прямо в кристаллизатор. А кристаллизатору придается форма отливки. Если раньше металл плавился в печи, затем переливался в ковш и после этого заливался в литейную форму, то теперь металл плавится прямо в литейной форме. Отпали операции заливки металла в ковш и в литейную форму.

Металл не входит в контакт ни со стенками ковша, ни с атмосферой. А шлак, через который проходят капли металла, и нагревает металл, и защищает его от атмосферы, и очищает от вредных примесей, газов и неметаллических включений.

Новый способ литья особенно ценен для отливки крупногабаритных деталей и изделий. Этим способом сейчас изготавливаются корпуса атомных реакторов, сосуды, работающие под высоким давлением, валки прокатных станов, коленчатые валы дизелей. Этому способу литья, несомненно, принадлежит большое будущее.

На рис. 6.1 приведена схема установки для электрошлакового переплава. При подаче тока в установку исходный слиток 1, служащий анодом, расплавляется в слое заранее приготовленного жидкого шлака 3. Этот слиток называют расходуемым электродом. Капли металла проходят через слой жидкого шлака, находящегося внутри кристаллизатора 2, очищаются от газов и неметаллических включений и попадают на опускающийся поддон, где затвердевают, образуя слиток 4. Получаемый слиток отличается от исходного высокими механическими свойствами, плотностью, однородностью строения.

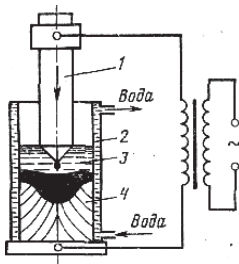


Рис. 6.1. Схема установки для электрошлакового переплава: 1 – расходный (переплавляемый) электрод; 2 – водоохлаждаемый кристаллизатор; 3 – жидкий шлак; 4 – готовый слиток

Плазма плавит металл. Как известно, нагревание веществ ведет к увеличению энергии теплового движения молекул. При нагреве до $2\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ начинает проявляться нарушение молекулярного состояния. Распадаются на атомы многоатомные молекулы. Вблизи $3\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдается диссоциация из двухатомных молекул, происходит их распад. Когда температура достигает $4\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$, почти все вещества находятся не в молекулярном, а в атомарном состоянии. Свыше $5\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ начинается процесс распада атомов на ионы; нарушаются внутриатомные связи. При $6\,000\text{--}7\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит деформация электронных оболочек атомов, отрыв электронов от атомных ядер. К $8\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ вещества находятся уже не только в атомарном, но и частично в ионизированном, плазменном, состоянии. Плазма – это ионизированная газовая система.

Плазменная струя газа обладает необычными свойствами. Газы-диэлектрики в плазменном состоянии становятся проводниками электрического тока. В обычном состоянии газы нейтральны, а в ионизированном они обладают уже электрическим зарядом. В плазме наблюдается очень высокая концентрация энергии (до 100 кВт/см^2).

Если плазменную струю сжать, нагреть электрической дугой и направить на поверхность металла, то металл будет плавиться. На этом принципе созданы плазменные горелки. Чем меньше сечение плазменной струи, чем больше плотность тока, сопротивление и мощность установки, тем выше температура, развиваемая плазменной горелкой – плазмотроном. Плазмотроны серийно выпускаются как в России, так и в США, Японии и Германии. Используются они для резки металлов, сварки, наплавки и напыления, а в ряде случаев и для плавки тугоплавких металлов.

В плазменных печах плавят от нескольких килограммов до нескольких тонн металла. На них устанавливают от одного до пяти плазмотронов. В качестве рабочих газов используют аргон или азот. На каждый килограмм полученного расплава расходуется $0,8\text{ кВт}$, т. е. при-

мерно столько же, сколько и в дуговой электродной печи. Азотная плазма разбивает температуру более 6 000 °С. Это позволяет получить очень высокий коэффициент полезного действия: на 60–70 % больше, чем у любых других печей.

В плазменных печах возможно получение металла весьма высокого качества. Металл не соприкасается с воздухом и не образует окислов и нитридов. В печи нет графитовых электродов, и поэтому не происходит науглероживания расплава. Медная водоохлаждаемая ванна исключает попадание в металл неметаллических включений. Все это обеспечивает высокую пластичность и достаточную прочность металлов, выплавляемых в плазменных печах.

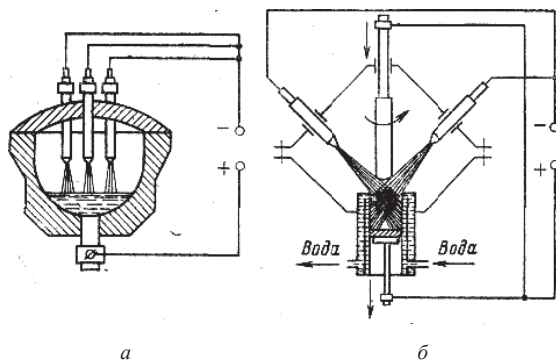


Рис. 6.2. Схема устройства плазменной дуговой печи: а – с огнеупорной футеровкой; б – с водоохлаждаемым кристаллизатором

На рис. 6.2 приведены схемы плазменно-дуговых печей. Печь с огнеупорной футеровкой (рис. 6.2, а) аналогична обычной электродуговой печи с той разницей, что вместо обычных графитовых электродов через свод печи в ванну вводятся плазменные горелки – плазмотроны. На рис. 6.2, б показана плазменно-дуговая печь с водоохлаждаемым кристаллизатором, в котором расплавляемый металл затвердевает на поддоне, равномерно опускающемся вниз.

Электроны бомбят металл. Во второй половине XX в. возник любопытный способ плавки металлов – с помощью пушки, стреляющей, однако, не ядрами и не снарядами, а... электронами.

Физические исследования показали, что если пучку свободных электронов придать значительное ускорение в электромагнитном поле

высокого напряжения и направить этот пучок на металл, то значительное количество кинетической энергии, развиваемой электронами, будет передано частицам металла. Под действием бомбардировки электронами металл будет не только нагреваться, но и плавиться.

В качестве источника энергии используется электронная пушка. Она содержит термокатод, который эмитирует электроны, фокусирующие электроды и магнитную систему фокусирования.

В атмосфере получить плотный, нерасеивающийся поток электронов не удастся, поэтому в электронно-плавильных установках применяется вакуум.

На рис. 6.3 приведены схемы устройства двух электронно-лучевых плавильных печей. В одной (а) поток электронов испускается кольцевым катодом 2, проходит через фокусирующий экран 3 и попадает на поверхность расплавленного металла, стекающего в водоохлаждаемый кристаллизатор 4. Нарастиваемый на поддоне с затравкой слиток (или отливка) по мере затвердевания перемещается вниз. В другой схеме (б) поток электронов вылетает из электронной пушки 1, плавит пруток металла 2, капли которого стекают в водоохлаждаемый кристаллизатор 3.

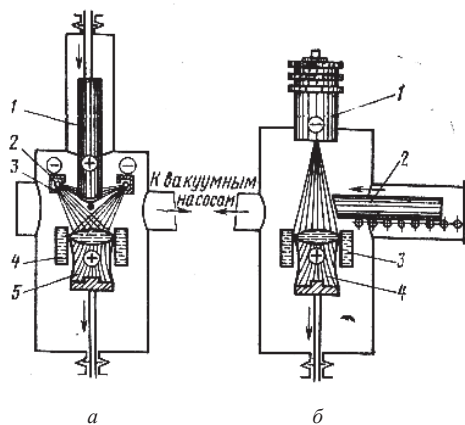


Рис. 6.3. Схема электронно-лучевой плавильной установки: а - с кольцевым катодом: 1 - расходимый электрод; 2 - кольцевой катод; 3 - экран; 4 - водоохлаждаемый кристаллизатор; 5 - наплавляемый слиток; б - с аксиальной электронной пушкой; 1 - электронная пушка; 2 - переплавляемый металл; 3 - водоохлаждаемый кристаллизатор; 4 - наплавляемый слиток

Электронно-лучевые печи используют для плавки самых тугоплавких металлов – вольфрама, молибдена, титана, циркония, ниобия, тантала. Плавка в таких печах проходит быстро – за 20–30 мин. За один час такие печи выдают 150–400 кг расплава при мощности 200–1 200 кВт.

Левитационная плавка. Этот вид плавки представляет особый интерес. Выплавляемый в обычных печах металл соприкасается с футеровкой печи, со шлаком и с атмосферой и взаимодействует с ними. В результате он загрязняется примесями. Чтобы выплавить совершенно чистый металл, нужно устранить контакт его со шлаком, огнеупорами и атмосферой. Как же этого можно добиться? Должен же металл на чем-то лежать, на что-то опираться?

Можно ли сделать так, чтобы сплошной металлический шар оказался парящим в пространстве? Оказывается, да. Если металлический шар поместить между двумя противоположно включенными электрическими катушками, по которым течет переменный ток, то при достаточно большой силе отталкивания между током, индуцируемым в шаре, и током в соленоиде возникает состояние парения металлического шара в переменном магнитном поле. Шар как бы за висает в пространстве между катушками. Если он сместится в сторону от оси симметрии, то сила отталкивания станет больше, и шар возвратится в исходное положение.

Этим обстоятельством и воспользовались металлурги для плавки во взвешенном состоянии чистых металлов, не соприкасающихся ни со стенками тигля или ванны печи, ни со слоем шлака над металлом.

В Санкт-Петербурге, в Физико-техническом институте имени академика А. Ф. Иоффе, научились отливать шарики сверхчистых металлов. Эти шарики при выплавке не соприкасаются не только со шлаками и футеровкой, но и с атмосферой печи. Они выплавляются в вакууме.

Левитационная плавка обеспечивает возможность получения сверхчистых металлов. Такие металлы нужны для атомной и полупроводниковой техники, а также применяются в химической промышленности для нужд катализа. В машиностроении их используют при изготовлении гафниевых электродов, а эти электроды необходимы при плазменной резке труб. Сверхчистые металлы нужны также при исследовании явлений сверхпроводимости.

Чистым металлам предстоит большое будущее.

Лазерная резка. Лазер (англ. *laser*, акроним от *light amplification by stimulated emission of radiation* «усиление света посредством вынужденного излучения») – это устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию ко-

герентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

Излучение лазера может быть непрерывным, с постоянной мощностью, или импульсным, достигающим предельно больших пиковых мощностей. Существует большое количество видов лазеров, использующих в качестве рабочей среды все агрегатные состояния вещества. Уникальные свойства излучения лазеров позволили использовать их в различных отраслях науки и техники, а также в быту, начиная с чтения и записи компакт-дисков и заканчивая исследованиями в области управляемого термоядерного синтеза.

Открытие лазерного излучения состоит из множества вех, среди которых можно отметить важнейшие.

В 1916 г. А. Эйнштейн предсказывает существование явления вынужденного излучения – физической основы работы любого лазера. В 1928 г. произошло экспериментальное подтверждение Р. Ладенбургом и Г. Копферманном существования вынужденного излучения. В 1940 г.



Жорес Иванович
Алферов
(род. в 1930 г.)

В. Фабрикантом и Ф. Бутаевой предсказана возможность использования вынужденного излучения среды с инверсией населенностей для усиления электромагнитного излучения. В 1954 г. был получен первый микроволновой генератор – мазер на аммиаке (Ч. Таунс, Н. Г. Басов и А. М. Прохоров – Нобелевская премия по физике 1964 г.). В 1960 г. Т. Мейман продемонстрировал работу первого оптического квантового генератора – лазера. В 1963 г. Ж. Алферов и Г. Кремер (Нобелевская премия по физике 2000 г.) разработали теорию полупроводниковых гетероструктур, на основе которых созданы многие лазеры.

Технология резки и раскроя материалов, использующая лазер высокой мощности, применяется на промышленных производственных линиях. Сфокусированный лазерный луч, обычно управляемый компьютером, обеспечивает высокую концентрацию энергии и позволяет резать практически любые материалы независимо от их теплофизических свойств. В процессе резки под воздействием лазерного луча материал разрезаемого участка плавится, возгорается, испаряется или выдувается струей газа. При этом можно получить узкие резы с минимальной зоной термического влияния. Лазерная резка отличается отсутствием механического воздействия на обрабатываемый материал,

возникают минимальные деформации, как временные в процессе резки, так и остаточные после полного остывания. Вследствие этого лазерную резку, даже легкодеформируемых и нежестких заготовок и деталей, можно осуществлять с высокой степенью точности. Благодаря большой мощности лазерного излучения обеспечивается высокая производительность процесса в сочетании с безупречным качеством поверхностей реза. Легкое и сравнительно простое управление лазерным излучением позволяет осуществлять лазерную резку по сложному контуру плоских и объемных деталей и заготовок с высокой степенью автоматизации процесса.

Для лазерной резки металлов применяют технологические установки на основе твердотельных, волоконных лазеров и газовых CO₂-лазеров, работающих как в непрерывном, так и в импульсно-периодическом режимах излучения (рис. 6.4). Промышленное применение газолазерной резки с каждым годом увеличивается, хотя этот процесс не может полностью заменить традиционные способы разделения металлов. В сопоставлении со многими из применяемых на производстве установок стоимость лазерного оборудования для резки еще достаточно высока, хотя в последнее время наметилась тенденция к ее снижению. В связи с этим процесс лазерной резки становится эффективным только при условии обоснованного и разумного выбора области применения, когда использование традиционных способов трудоемко или вообще невозможно.

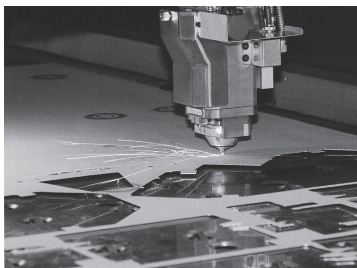


Рис. 6.4. Лазерная резка

Лазерная резка осуществляется путем сквозного прожига листовых металлов лучом лазера. Такая технология имеет ряд очевидных преимуществ перед многими другими способами раскроя: отсутствие механического контакта позволяет обрабатывать хрупкие и деформирующиеся материалы; обработке поддаются материалы из твердых сплавов; возможна высокоскоростная резка тонколистовой стали; при выпуске небольших партий продукции целесообразнее провести лазерный раскрой материала, чем изготавливать для этого дорогостоящие пресс-формы или формы для литья; для автоматического раскроя материала достаточно подготовить файл рисунка в любой чертежной программе и перенести файл на компьютер установки, которая выдержит погрешности в очень малых величинах.

6.3. Заводы-автоматы

На заводах будущего роботы призваны заменить тяжелый физический труд рабочего.

Первые шаги по устранению тяжелого физического ручного труда в производстве обеспечила механизация труда. От механизации мы успешно переходим к автоматизации отдельных процессов. При автоматизации машины и механизмы не только выполняют ту работу, которую раньше приходилось выполнять вручную, но и управляют сами собою.

Десятки различных процессов на современных производствах уже автоматизированы. Но впереди еще более сложная и важная задача – создать полностью автоматизированные предприятия.

Рассмотрим, например, как работает завод-автомат, изготавливающий литые алюминиевые поршни для автомобильных двигателей. Все без исключения операции по плавке, заливке кокилей и обработке готовых отливок на этом заводе автоматизированы.

Только укладка алюминиевых чушек на транспортер перед загрузкой в печь выполняется вручную. На эту операцию затрачивается 4–5 минут в течение часа.

Через определенные промежутки времени загрузочная дверка плавильной печи автоматически открывается и в печь с транспортера толкателем сталкивается очередная чушка алюминиевого сплава. Дверка автоматически закрывается. Уровень жидкого металла в печи поддерживается постоянным. Через определенные промежутки времени автоматически на несколько секунд поднимается металлическая игла, закрывающая выход расплава из дозатора. Из него в литейную форму выдается необходимое количество жидкого металла.

Формы установлены на поддоне карусельной машины. Машина вращается, перемещая формы с одной позиции на другую. В то время как в одну форму металл заливается, в другой, уже залитой, отливка остывает, в третьей производится разъем кокиля и выталкивание готовой отливки, на четвертой – происходит продувка кокиля и его очистка, на пятой – установка стержней и на шестой – закрытие кокиля. Готовая отливка попадает на транспортер, оттуда – на станок-автомат, отрезающий литники и прибыли.

Отливки по конвейеру передаются в печь для термообработки. Потом они проходят механическую обработку и автоматический контроль размеров, а также контроль наличия внешних и внутренних дефектов. Годные отливки поступают на склад, где производится их автоматиче-

ская упаковка. На заводе работают только диспетчеры, наладчики и инструментальщики – всего 10 человек в смену.

Такие заводы-автоматы должны в ближайшее время вытеснить заводы, работающие на старых принципах, с большим количеством персонала и относительно низкой производительностью.

Несмотря на то что первый в мире завод-автомат был запущен еще в 50-е гг. в СССР (он специализировался на производстве подшипников), в то время заводы-автоматы не получили достаточного распространения. Главная причина состоит в том, что управление подобными производствами было основано преимущественно на механических и электромеханических регуляторах различной конструкции, что существенно снижало гибкость производства. То есть если возникала необходимость изменить сортамент выпускаемой продукции, то необходимые для этого затраты на переналадку работы всех механизмов превышали выгоды от автоматизации.

Однако во второй половине XX в. в широкую промышленную практику стали внедряться электронно-вычислительные машины. Такие устройства в сочетании с соответствующим оборудованием, способным управляться ЭВМ, значительно повышали гибкость производства. Окончательно проблему быстрой смены выпускаемых изделий позволили решить промышленные роботы, которые в сочетании с программным управлением на основе современных саморегулируемых алгоритмов позволяют полноценно использовать заводы-автоматы.

6.4. Промышленные роботы

Робот – автоматическое устройство, созданное по принципу живого организма. Действуя по заранее заложённой программе и получая информацию о внешнем мире от датчиков (аналогов органов чувств живых организмов), робот самостоятельно осуществляет производственные и иные операции, обычно выполняемые человеком, при этом робот может как взаимодействовать с оператором (получать от него команды), так и действовать автономно.

Внешний вид и конструкция современных роботов могут быть весьма разнообразными. В настоящее время в промышленном производстве широко применяются различные роботы, внешний вид которых (по причинам технического и экономического характера) далек от «человеческого».

Современный промышленный робот – это автономное устройство, состоящее из механического манипулятора и системы управления, позволяющей перепрограммировать в широких пределах движения исполнительных органов манипулятора, их количество и траекторию; а также задать другие количественные и качественные параметры конфигурации робота и оснастки. Такие устройства применяются для перемещения объектов в пространстве и для выполнения различных производственных процессов.

Промышленные роботы могут выполнять основные технологические операции (сварка, окраска, сборка и др.) и вспомогательные технологические операции (загрузка-выгрузка технологического оборудования, транспортные и др.). При использовании сменной технологической оснастки выполняемые операции могут выполняться одним роботом. Промышленные роботы являются одним из компонентов автоматизированных производственных систем, которые при неизменном уровне качества позволяют увеличить производительность труда в целом.

Экономически выгодно использование промышленных роботов совместно с другими средствами автоматизации производства (автоматические линии, участки и комплексы).

Необходимо было множество изобретений, накопление которых позволило подойти к современному состоянию робототехники. В 1921 г. чешский писатель Карел Чапек представил публике пьесу под названием «Р.У.Р.» («Россумские универсальные роботы»), откуда и взяло начало слово «робот» (от словацк. *robota*). В 1930-е гг. появились конструкции внешне напоминающих человека устройств, способных выполнять простейшие движения и воспроизводить фразы по команде человека. Одним из первых таких «роботов» был сконструированный американским инженером Д. Уэксли робот, представленный на Всемирной выставке в Нью-Йорке в 1927 г. В 1950-е гг. для работы с радиоактивными материалами стали разрабатывать механические манипуляторы, которые копировали движения рук человека, находящегося в безопасном месте.

В 1968 г. японская компания Kawasaki Heavy Industries, Ltd. получила лицензию на производство робота от американской фирмы Unimation Inc. и собрала своего первого промышленного робота. С тех пор Япония начала неуклонное движение к тому, чтобы стать мировой столицей роботов – с более чем 130 компаниями, вовлеченными в их производство. Первые роботы в Японии применяли в производстве для таких специфических работ, как сварка и распыление краски на кузова

автомобилей. В 70-х гг. были разработаны многочисленные варианты практического применения роботов в различных областях.

В СССР также занимались робототехникой. Так, в 1979 г. в МГТУ им. Н. Э. Баумана по заказу КГБ был сделан аппарат для обезвреживания взрывоопасных предметов – сверхлегкий мобильный робот МРК-01. В 1982 г. в Ленинграде в выставочном комплексе в Гавани проходила Международная выставка «Промышленные роботы – 82».

В 1986 г. в Чернобыле впервые в СССР применены роботы для очистки радиоактивных отходов. Интересно, что при аварии на атомной станции Фукусима в 2011 г. в Японии на протяжении первых недель ликвидации аварии не смогли применить специальных роботов и рисковали здоровьем людей. И это при явном лидерстве Японии в мировой робототехнике!

Тем не менее в настоящее время на долю Японии приходится около 45 % функционирующих в мире промышленных роботов. Если говорить об абсолютных цифрах, то к концу 2004 г. в Японии было задействовано более 350 тысяч промышленных роботов, на втором месте со значительным отрывом шли Соединенные Штаты Америки (120 тысяч промышленных роботов). Япония занимает первое место в мире и по экспорту промышленных роботов. Ежегодно эта страна производит более 60 тысяч роботов, почти половина из которых идет на экспорт. Такой задел, безусловно, делает лидерство японских компаний еще более заметным.

В наше время предлагаются необычные кинематические схемы манипуляторов. Быстро развиваются технологические роботы, выполняющие такие операции, как высокоскоростное резание, окраска, сварка. Появление в 70-х гг. микропроцессорных систем управления и замена специализированных устройств управления на программируемые контроллеры позволили снизить стоимость роботов в разы, сделав рентабельным их массовое внедрение в промышленности. Этому способствовали объективные предпосылки развития промышленного производства.

Следующим шагом в развитии промышленной робототехники станет внедрение человекоподобных роботов. Это позволит использовать установленное на предприятиях оборудование без какой-либо переделки. С одной стороны, это будет способствовать увеличению производительности труда, снижению себестоимости продукции, но с другой – грозит вытеснением рабочей силы из промышленности, ростом безработицы и т. п.

Существует и еще один важнейший аспект робототехники – это военные приложения. Уже сейчас страны НАТО и в первую очередь США активно применяют роботизированные самолеты (дроны) для патрулирования территорий и атак с воздуха. Однако этическая сторона этого вопроса еще далеко не разрешена, потому что проблема – можно ли роботам доверять решение о жизни и смерти людей – еще не получила основательных ответов. Кроме того, развитие военных роботов грозит новым витком гонки вооружений в мире.

6.5. Будущее формовки

Литье в сырые песчаные формы в будущем, по-видимому, сохранится только для единичных и очень крупных отливок. Для изготовления же сотен и тысяч однотипных деталей сырые песчаные формы постепенно уступят место кокилям (металлическим формам), оболочковым формам и формам с выплавляемыми, сжигаемыми и газифицируемыми моделями. Широкое применение получают специальные способы литья – литье под давлением, центробежное литье, литье всасыванием и выжиманием.

Одним из самых перспективных способов формовки является формовка самотвердеющими смесями. Отливку крупных изделий вряд ли возможно и в будущем перенести в металлические формы. Расход же формовочных материалов и связующих для них велик. Значительны и затраты труда на уплотнение смесей ручными или механическими трамбовками. Большие трудности представляет и сушка таких форм. Поэтому можно предположить, что в ближайшие годы еще более широкое применение получат химически твердеющие и жидкие самотвердеющие смеси (ЖСС).

В качестве связующего в химически твердеющих смесях в основном будут использовать жидкое стекло. После изготовления из такой смеси формы ее необходимо продуть струей углекислого газа в течение нескольких минут. Под действием газа жидкое стекло быстро твердеет, образуя сравнительно прочный песчаный монолит. Его прочность выше прочности обычных песчаных форм в 2–3 раза.

Еще более широкое применение получают жидкие самотвердеющие формовочные и стержневые смеси, изобретенные советским инженером и ученым А. М. Ляссом (1911–1976) и его сотрудниками. Суть изобретения состоит в том, что в формовочную смесь вводят некото-

рое количество поверхностно-активных веществ, способных образовывать стойкую пену. Пена обволакивает песчинки, разделяет их и резко уменьшает их трение друг о друга. Песчинки как бы скользят на микроскопических воздушных подушках. В результате сыпучая смесь приобретает свойства, аналогичные жидкости. Она легко заполняет полость формы, щели, отверстия, через несколько минут твердеет и без всякой сушки превращается в прочный монолит. В качестве поверхностно-активных веществ используют дешевые и недефицитные отходы химической и металлургической промышленности. Созданные в СССР жидкие самотвердеющие смеси вызвали большой интерес у литейщиков всех стран мира и в настоящее время получили широкое распространение в России и мире.

6.6. Обработка материалов с помощью сверхвысоких давлений

Достижения науки и техники второй половины XX в. обусловили успешное применение принципиально новых технологических способов, основанных на деформации обрабатываемого тела путем приложения к нему высокого всестороннего давления жидкости или газа. Появление новых способов обработки связано с общим научно-техническим прогрессом, качественными сдвигами в области машиностроения, предьявившего спрос на новые изделия из труднодеформируемых материалов. К их числу относится большая группа жаропрочных и высоколегированных сталей, сплавов тугоплавких металлов – вольфрама, молибдена, титана и др. Новые способы распространились и на область порошковой металлургии, обеспечивающей получение монолитных, беспористых материалов и изделий из них.

Проблемой использования высоких давлений в науке и технике ученые и специалисты заинтересовались еще в конце XIX – начале XX в. Именно в этот период в ряде стран начались исследования свойств жидкости и газов при высоких давлениях и температурах, эффекта высокого всестороннего давления на твердое тело. В 30–40-х гг. делаются практические шаги по созданию камер высокого давления, разработке методов и приборов для измерения высоких давлений, изучению свойств многих твердых тел в состоянии высокой плотности. Создаются камеры высокого давления, позволившие вести исследования при давлениях до 100 тыс. кг/см².

Крупный вклад в развитие физики и техники высоких давлений внес американский ученый П. У. Бриджмен (1882–1961). В 1946 г. за усовершенствование методов получения высоких давлений, исследование свойств различных материалов под давлением в десятки и сотни тысяч атмосфер ему была присуждена Нобелевская премия. Проблемой высоких давлений занимались и многие другие специалисты.



Леонид Федорович
Верещагин
(1909–1977)

В СССР работы в области физики высоких давлений велись в довоенные годы в ряде лабораторий и научно-исследовательских институтов. На их основе в составе Академии наук в 1954 г. была создана Лаборатория высоких давлений, возглавляемая профессором, впоследствии академиком Л. Ф. Верещагиным. В 1958 г. на основе Лаборатории создается Институт физики высоких давлений АН СССР для разработки комплекса научно-технических проблем, связанных с созданием сверхмощного оборудования и исследованиями физических свойств твердых тел при высоких давлениях. За цикл работ в области физики высоких давлений, в частности

за разработку методов измерений деформации твердых тел, скорости звука и других исследований, Л. Ф. Верещагин в 1952 г. был удостоен Государственной премии, а в 1961 г. – Ленинской премии (в 1960 г. под его руководством впервые в нашей стране получены синтетические алмазы).

Эти и другие работы положили начало развитию техники высоких давлений, применению результатов исследований в различных отраслях промышленности.

В результате металлургическая технология пополнилась новыми машинами – гидростатами, газостатами и гидростатическими прессами. По оценкам академика А. И. Целикова, гидростаты и газостаты перспективны в порошковой металлургии для получения различных металлов и сплавов повышенного качества, а гидростатические (гидроэкструзионные) прессы – для получения изделий из металлов и сплавов с пониженными пластическими свойствами.

Гидростаты и газостаты представляют собой камеры или контейнеры, в которых процесс деформации обрабатываемого тела осуществляется в результате приложения к нему высокого всестороннего давления жидкости или газа (процесс гидро- или газопрессования). Большое преимущество обработки порошков металлов в гидростатах или газостатах состоит в резком повышении скорости кристаллизации при пере-

ходе металла из жидкого состояния в твердое. В настоящее время этот способ широко применяется в производстве быстрорежущих и жаропрочных сталей, а также изделий из твердых сплавов. Способ был реализован в производстве на основании исследовательских и опытно-экспериментальных работ, проведенных во ВНИИМетМаше коллективом ученых во главе с Б. В. Розановым. Применение гидростатов и газостатов оказалось также эффективным для залечивания усталостных микротрещин деталей машин, срок ресурса которых близок к концу.

К процессу гидростатического прессования изобретательская мысль обратилась еще в 30-х гг. XX в. В 50-х гг. коллектив ВНИИМетМаша, используя первые опыты советского инженера Курневича, а также исследования Бриджмена и Верещагина, разработал конструкции гидростатических прессов. Эти машины, созданные ВНИИМетМашем совместно с Ижорским машиностроительным и Коломенским станкостроительным заводами, рассчитаны на рабочее давление в контейнере до 20 000 кгс/см² и общее осевое усилие от 250 до 1 600 тс. Способом гидропрессования получают прутки, профили, а также детали, имеющие форму тел вращения из металлов с низкими пластическими свойствами.

В последние десятилетия в технике все более широко применяется взрыв для сварки (рис. 6.5) или взрывного штампования.

При сварке взрывом привариваемая (метаемая) деталь располагается под углом к неподвижной детали-мишени (основанию) или параллельно ей и приводится в движение контролируемым взрывом, в результате чего с большой скоростью соударяется с ней; соединение образуется за счет совместной пластической деформации поверхностей.

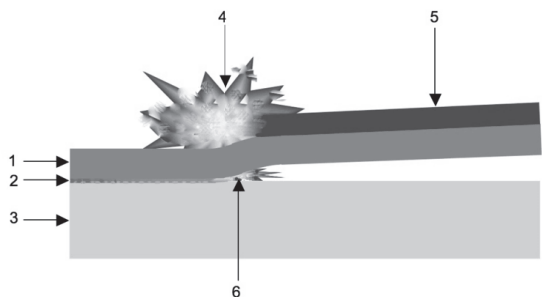


Рис. 6.5. Схема сварки взрывом: 1 – метаемая деталь; 2 – сплавленная поверхность; 3 – неподвижная деталь; 4 – взрывная (ударная) волна; 5 – заряд взрывчатого вещества; 6 – кумулятивная струя

Одним из преимуществ сварки взрывом является то, что она может применяться для соединения деталей из разнородных материалов.

При взрывном штамповании возникающая при сгорании заряда взрывчатого вещества ударная волна деформирует заготовку, придавая ей форму сопряженной с ней матрицы. Впервые процесс взрывного штампования был предложен в 1940-х гг. в Харьковском авиационном институте и с 50-х гг. стал широко применяться в производстве крупногабаритных деталей ракет и самолетов. В качестве передающей среды здесь применяют жидкость или газ. Существуют установки для взрывного штампования в атмосфере разреженного газа и в вакуумной камере. Установка состоит из углубленного в землю железобетонного, облицованного металлом бассейна с водой. В него полностью погружается матрица с помещенным над ней зарядом. Матрица обычно изготавливается из мягких сталей, алюминия и даже пластмасс. В момент взрыва заготовка силой ударной волны принимает форму матрицы. Взрывное штампование позволяет снизить трудоемкость изготовления деталей по сравнению со штампованием на прессах до 10 раз.

6.7. Трехмерная печать изделий

Примерно с начала 1980-х гг. начали интенсивно развиваться технологии формирования трехмерных объектов не путем удаления материала (точение, фрезерование, электроэрозионная обработка) или изменения формы заготовки (ковка, штамповка, прессование), а путем постепенного наращивания (добавления) материала или изменения фазового состояния вещества в заданной области пространства. На данный момент значительного прогресса достигли технологии послойного формирования трехмерных объектов по их компьютерным образам. Эти технологии известны под разными терминами, например *SFF* (*Solid Freeform Fabrication*), *FFFF* (*Fast Free Form Fabrication*) или *CARP* (*Computer Aided Rapid Prototyping*) и др.

Все названные технологии предполагают наличие трехмерной компьютерной модели детали. Большинство известных систем автоматизированного проектирования обеспечивают экспорт компьютерных моделей в стандартном для прототипирования формате *STL*. Некоторые установки для прототипирования называются трехмерными принтерами.

Таким образом, 3D-принтер – устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели.

3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твердого объекта.

Для формирования твердого объекта в настоящее время применяются две технологии формирования слоев – лазерная и струйная. Обе имеют множество вариантов, но все они имеют достаточно высокую стоимость. Однако с течением времени недостатки постепенно устраняются – снижаются цены, расширяется выбор технологий и материалов.

Технология трехмерной печати уже сейчас достаточно широко применяется в различных отраслях техники, однако ее перспективы выглядят весьма впечатляюще.

Так, сейчас 3D-печать применяется для быстрого прототипирования, т. е. быстрого изготовления прототипов моделей и объектов для дальнейшей доводки. Уже на этапе проектирования можно кардинальным образом изменить конструкцию узла или объекта в целом. В инженерии такой подход способен существенно снизить затраты в производстве и освоении новой продукции. Например, конструкция из прозрачного материала позволяет увидеть работу механизма «изнутри», что, в частности, было использовано инженерами Porsche при изучении тока масла в трансмиссии автомобиля еще при ее разработке.

Однако только моделями дело не ограничивается, уже сейчас 3D-печать применяется для изготовления готовых деталей из материалов, поддерживаемых 3D-принтерами (главным образом различных пластмасс). Это отличное решение для малосерийного производства. Трехмерная печать, без преувеличений, перевернула некоторые области литейного производства (например, ювелирную отрасль), где она уже сейчас используется для изготовления моделей и литейных форм.

В будущем 3D-печать позволит осуществлять производство различных мелочей прямо в домашних условиях. Для этого надо будет приобрести компьютерную модель в сети и на домашнем принтере ее распечатать.

В перспективе у трехмерной печати – биомедицинские приложения. Уже сейчас есть технологии, позволяющие наносить на специальный био-гель сгустки клеток заданного типа. Развитие данной технологии – выращивание полноценных человеческих органов, т. е. эксперименты по печати донорских органов. В медицине 3D-печать может применяться при протезировании и производстве имплантатов (фрагменты скелета, черепа, костей, хрящевых тканей). Есть мнение, что в будущем по этой технологии возможно изготовление продуктов питания, т. е. печать пищи из специальных пищевых порошков.

Преимущества технологий 3D-печати в технике на сегодняшний момент заключаются в следующем: сокращение сроков технической подготовки производства новой продукции в 2–4 раза; снижение себестоимости продукции, особенно в мелкосерийном или единичном производстве в 2–3 раза; значительное повышение гибкости производства.

Недостатки технологии заключаются в относительно высокой цене установок и расходных материалов, недостаточной точности и относительно низкой прочности моделей. Однако технология совершенствуется буквально каждый месяц, поэтому преодоление большинства недостатков можно ожидать в ближайшее время.

Быстрое создание прототипов и 3D-печать в будущем позволят изготавливать не только пластиковые объекты, но и изделия из разнообразных материалов (пластик, керамика, сплавы), которые потенциально дают возможность настроить производство продукции для индивидуальных потребителей.

6.8. Сканирующая туннельная микроскопия

Физика поверхностных явлений в настоящее время – один из наиболее интенсивно развивающихся разделов физического материаловедения. Именно на фундаментальных исследованиях в области физики поверхности твердого тела основаны успехи современных микро- и нанoeлектроники, гетерогенного катализа, космических технологий и т. п. Поэтому исследование разнообразных электронных, атомных и молекулярных процессов, происходящих на поверхности твердых тел, остается актуальной задачей. И непосредственное наблюдение за поведением отдельных атомов на поверхности твердого тела, и изучение процессов с участием одиночных или небольших групп атомов – это давнее желание ученых.

Первостепенное значение для понимания свойств любого объекта имеет знание его атомной структуры, поэтому определение поверхностных структур – один из наиболее важных разделов физики поверхности. Следует отметить, что в настоящее время существуют приборы, позволяющие отображать отдельные атомы: полевой ионный микроскоп и просвечивающий электронный микроскоп высокого разрешения, однако оба они имеют существенные ограничения по применимости, связанные со специфическими требованиями к форме образцов.

Поэтому изобретение в 1981 г. Гердом Карлом Биннигом и Генрихом Рорером сканирующего туннельного микроскопа (рис. 6.6), кото-

рый не накладывает ограничений на размеры образцов, реально открыло двери в новый микроскопический мир. За это изобретение они были удостоены Нобелевской премии по физике за 1986 г.

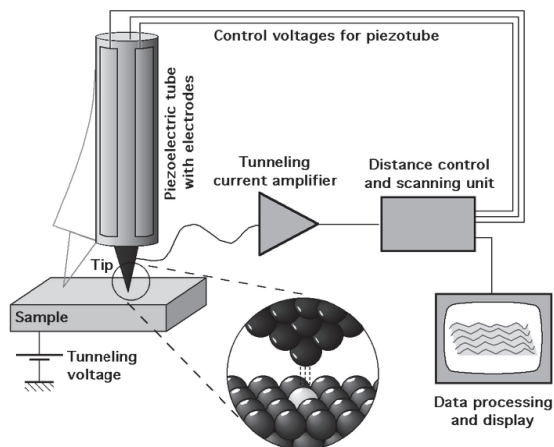


Рис. 6.6. Схема работы сканирующего туннельного микроскопа

Принцип действия сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) довольно прост, но кардинально отличается от всех предшествующих методик, применявшихся в физике поверхности.

Тонкое металлическое острие, смонтированное на электромеханическом приводе (X-, Y-, Z-позиционере), служит зондом для исследования участков поверхности образца (рис. 6.6). Когда такое острие подводится к поверхности на расстояние менее 10 \AA , то при приложении между острием и образцом небольшого напряжения через вакуумный промежуток начинает протекать туннельный ток. Полагая, что электронные состояния (орбитали) локализованы на каждом атомном участке, при сканировании поверхности образца с одновременным измерением выходного сигнала можно получить картину поверхностной структуры на атомном уровне (рис. 6.7).

Вообще СТМ можно рассматривать как сочетание трех концепций: сканирования, туннелирования и локального зондирования. Само сканирование как средство отображения объекта широко применяется и в других типах микроскопов, например в растровом электронном микроскопе, а также в телевизионной технике.

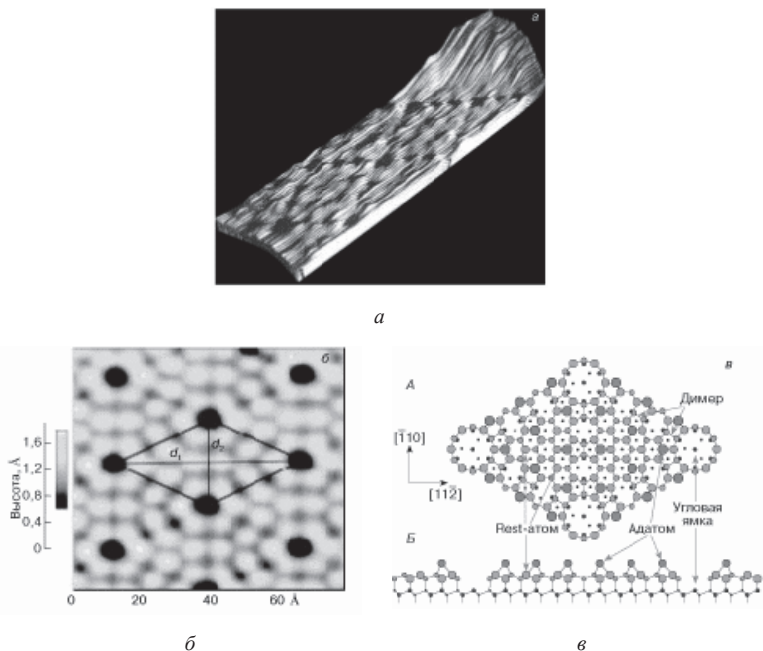


Рис. 6.7. СТМ-изображение реконструированной поверхности кремния Si(111): *a* – рельеф поверхности, полученной из записей осциллограмм; *б* – СТМ-изображение такой же поверхности, но после фильтрации сигнала и его математической обработки; *в* – теоретическая модель соответствующей поверхности

Электронное туннелирование с успехом использовалось для изучения физических свойств твердого тела задолго до появления СТМ. Все это делает СТМ уникальным микроскопом, который не содержит линз (а значит, изображение не искажается из-за aberrаций). Поскольку энергия электронов, формирующих изображение, не превышает нескольких электронвольт (то есть меньше энергии типичной химической связи), что обеспечивает возможность неразрушающего контроля объекта, тогда как в электронной микроскопии высокого разрешения энергия электронов достигает нескольких килоэлектронвольт и даже мегаэлектронвольт, вызывая образование радиационных дефектов.

Несмотря на свою простоту, конструирование и изготовление СТМ до сих пор остается трудной задачей. Даже в наши дни существует немного лабораторий, располагающих СТМ, которые работали бы с истинно атомным разрешением. Все СТМ можно разделить на две основ-

ные группы: работающие на воздухе (или в другой среде) и в условиях сверхвысокого вакуума.

Таким образом, в руках ученых появился уникальный инструмент, позволяющий наблюдать на поверхности отдельные атомы. Но чтобы убедить широкие круги научной общественности в том, что получаемые данные являются реальными экспериментальными результатами, а не данными компьютерного моделирования, понадобилось провести специальное исследование поверхности кремния.

6.9. Металлы с памятью формы

В последнее время все более широкое распространение получает интересная группа материалов, обладающих эффектом памяти формы (ЭПФ). Сам по себе эффект памяти формы – явление возврата к первоначальной форме у некоторых материалов после предварительной деформации при нагреве.

Чтобы понять эффект памяти формы, рассмотрим фотографии опыта, демонстрирующие ЭПФ (рис. 6.8, а). Взятую металлическую проволоку 1 сгибают 2. Затем начинают нагревать 3. В результате нагрева происходит распрямление проволоки 4, которая восстанавливает свою исходную форму.

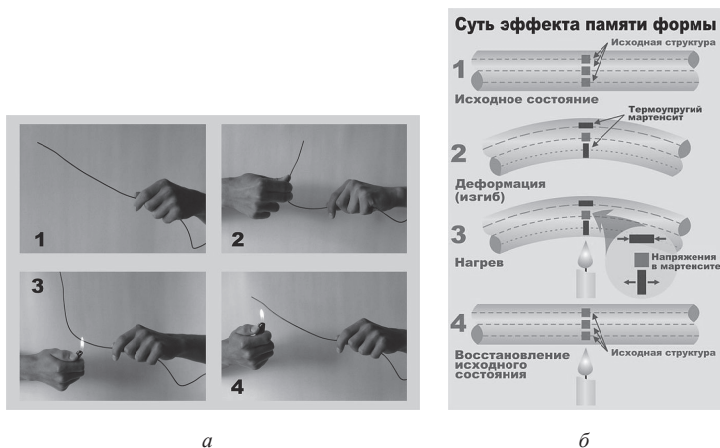


Рис. 6.8. Эффект памяти формы: а – демонстрация эффекта; б – структурные изменения, вызывающие ЭПФ

Рассмотрим, за счет чего это происходит (рис. 6.8, б). В исходном состоянии в материале существует определенная структура 1. На рисунке она обозначена правильными квадратами. При деформации (в данном случае изгибе) внешние слои материала вытягиваются, а внутренние сжимаются (средние остаются без изменения) 2. Эти деформированные структуры приобретают структуру мартенсита деформации, что является достаточно распространенным для многих металлических сплавов. Необычным является то, что в материалах с памятью формы мартенсит термоупругий. При нагреве начинает проявляться термоупругость мартенситных пластин, т. е. в них возникают внутренние напряжения 3, которые стремятся вернуть структуру в исходное состояние, т. е. сжать вытянутые участки и растянуть сплюснутые. Поскольку внешние вытянутые участки сжимаются, а внутренние, сплюснутые, растягиваются, материал в целом проводит автодеформацию в обратную сторону и восстанавливает свою исходную структуру, а вместе с ней и форму 4. Возврат термоупругого мартенсита в исходное состояние при нагреве называется обратным мартенситным превращением.

Температуры мартенситных превращений зависят от химического состава сплава. Небольшие изменения химического состава сплава (намеренные или как результат брака) ведут к сдвигу этих температур. Отсюда следует необходимость строгой выдержки химического состава сплава для однозначного функционального проявления эффекта памяти формы, что предъявляет к металлургическому производству особые требования и значительно его удорожает.

Эффект памяти формы может проявляться несколько миллионов циклов, его можно усиливать предварительными термообработками. Возможны реверсивные эффекты памяти формы, когда материал при одной температуре «вспоминает» одну форму, а при другой температуре – другую.

Лидером среди материалов с памятью формы по применению и по изученности является никелид титана. Другое название этого сплава, принятое за рубежом, – нитинол – происходит от аббревиатуры *NiTiNOL*, где *NOL* – это сокращенное название Лаборатории морской артиллерии США, где этот материал был разработан в 1962 г.

Никелид титана обладает высокой коррозионной стойкостью, прочностью, хорошими характеристиками формозапоминания. Деформация до 8 % может полностью восстанавливаться. Напряжение восстановления при этом может достигать 800 МПа.

Изделие из никелида титана может исполнять функции как датчика, так и исполнительного механизма.

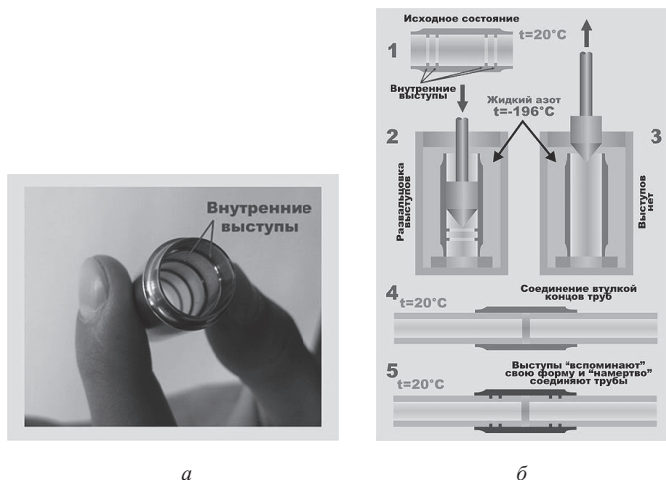


Рис. 6.9. Практическое применение ЭПФ: *а* – соединительная втулка гидросистемы самолета; *б* – последовательность операций при установке втулки

Одним из первых применений никелида титана были соединительные втулки для соединения труб гидравлической системы военных самолетов. В истребителе более 300 тысяч таких соединений, и каждое из них критически важный элемент, выход которого из строя может привести к авиакатастрофе. Внешний вид соединительной втулки и схема соединения показаны на рис. 6.9.

По сути дела, этот тип соединения заменяет сварку. И предотвращает такие недостатки сварного шва, как неизбежное разупрочнение металла в процессе сварки и накопление дефектов в переходной зоне между металлом и сварным швом. Кроме того, этот метод соединения хорош для финального соединения при сборке конструкции, когда сварка из-за переплетения узлов и трубопроводов становится труднодоступной.

Сейчас такие втулки используются в авиационной, космической и автомобильной технике. Этот метод также применяется для соединения и ремонта труб подводных кабелей.

Хорошая совместимость никелида титана с живыми организмами позволила найти для этого материала множество медицинских приложений, в частности он применяется для изготовления стентов для введения в сосуды кровеносной системы. Они вводятся в виде прямой проволоки с помощью катетера, после чего приобретают форму спира-

ли, обеспечивая расширение участка, суженного патологическим процессом. Крепежные штифты, предназначенные для фиксации протезов на костях и замещения хрящей головки бедренной кости, выполняют из никелида титана. Заменяющий материал становится самозажимным под действием тепла человеческого тела. Заметим, что этим кратким списком медицинские приложения не исчерпываются.

Особое поведение материалов с ЭПФ при заданной температуре позволило широко применять их в различных устройствах, таких как тепловые и пожарные сигнализации, кондиционеры, терморегуляторы и клапаны, термостаты.

Все области применения сплавов с ЭПФ, конечно, не заканчиваются представленным кратким перечнем, и перспективы применения этих материалов в промышленности и быту еще далеко не исчерпаны.

6.10. Композиционные материалы

В этом параграфе речь пойдет об особом классе материалов, в котором металлы часто играют далеко не первые роли. Часто металлы вообще не используются при создании композиционных материалов, т. е. такие материалы выступают в качестве конкурентов материалам металлическим. Так что же такое композиционный материал? Как это ни странно, но точного ответа на этот вопрос до сих пор нет. Одно из самых распространенных определений звучит так: композиционный материал (композит) – искусственно созданный неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними. В большинстве композитов компоненты можно разделить на матрицу и включенные в нее армирующие элементы.

В композитах конструкционного назначения армирующие элементы обычно обеспечивают необходимые механические характеристики материала (прочность, жесткость и т. д.), а матрица (или связующее вещество) обеспечивает совместную работу армирующих элементов и защиту их от механических повреждений и агрессивной химической среды. Механическое поведение композиции определяется соотношением свойств армирующих элементов и матрицы, а также прочностью связей между ними. Характеристики создаваемого изделия, как и его свойства, зависят от выбора исходных компонентов и технологии их совмещения.

В результате совмещения армирующих элементов и матрицы образуется композиция, обладающая набором свойств, отражающих не только исходные характеристики его компонентов, но и имеющих новые свойства, которыми изолированные компоненты не обладают.

Для создания композиции используются самые разные армирующие наполнители и матрицы. Примерами композиционных материалов служат гетинакс и текстолит (слоистые пластики из бумаги или ткани, склеенной термореактивным клеем), стекло- и графитопласт (ткань или намотанное волокно из стекла или графита, пропитанное эпоксидными клеями), фанера. Есть материалы, в которых тонкое волокно из высокопрочных сплавов залито алюминиевой массой. Булатная сталь – один из древнейших композиционных материалов. В нем тончайшие слои высокоуглеродистой стали «склеены» мягким низкоуглеродным железом.

Волокнистые композиционные материалы, армированные нитевидными кристаллами и непрерывными волокнами тугоплавких соединений и элементов (SiC, Al₂O₃, бор, углерод и др.), – относительно новый класс материалов. Однако принципы армирования для упрочнения известны в технике с глубокой древности. Еще в Ассирии использовали тростник для армирования глины при постройке жилищ, а в Древней Греции железными прутьями укрепляли мраморные колонны при постройке дворцов и храмов. В 1555–1560 гг. при постройке храма Василия Блаженного в Москве русские зодчие Барма и Постник использовали армированные железными полосами каменные плиты. Пробразом композиционного материала является железобетон, представляющий собой сочетание бетона, работающего на сжатие, и стальной арматуры, работающей на растяжение.

Упрочнение материалов волокнами из тугоплавких веществ значительно повышает их жаропрочность. Например, армирование никелевого сплава вольфрамовым волокном (проволокой) позволяет повысить его жаропрочность при 1 100 °С в 2 раза.

В последнее время материаловеды экспериментируют с целью создать более удобные в производстве, а значит – и более дешевые композиционные материалы.

По характеру структуры композиционные материалы подразделяются на волокнистые, упрочненные непрерывными волокнами (рис. 6.10) и нитевидными кристаллами; дисперсно-упрочненные материалы, полученные путем введения в металлическую матрицу дисперсных частиц упрочнителей; слоистые материалы, созданные путем

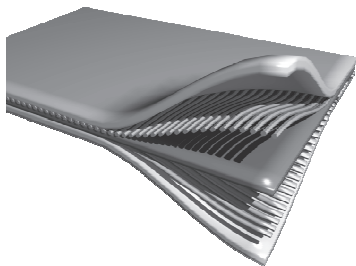


Рис. 6.10. Схема структуры композиционного материала

прессования или прокатки разнородных материалов. К композиционным материалам также относятся сплавы с направленной кристаллизацией эвтектических структур. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно, в зависимости от назначения, получать материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами. В узлах конструкций, требующих наибольшего упрочнения, армирующие волокна располагаются по направлению приложенной нагрузки.

Важнейшими технологическими методами изготовления композиционных материалов являются: пропитка армирующих волокон матричным материалом; формование в пресс-форме лент упрочнителя и матрицы, получаемых намоткой; холодное прессование обоих компонентов с последующим спеканием; электрохимическое нанесение покрытий на волокна с последующим прессованием; осаждение матрицы плазменным напылением на упрочнитель с последующим обжатием; пакетная диффузионная сварка монослойных лент компонентов; совместная прокатка армирующих элементов с матрицей и др.

Области применения композиционных материалов многочисленны: кроме авиационно-космической, ракетной и других специальных отраслей техники, они могут быть успешно применены в энергетическом турбостроении, в автомобильной промышленности – для деталей двигателей и кузовов автомашин; в машиностроении – для корпусов и деталей машин; в горнорудной промышленности – для бурового инструмента, буровых машин и др.; в металлургической промышленности – в качестве огнеупорных материалов для футеровки печей, кожухов и другой арматуры печей, наконечников термопар; в строительстве – для пролетов мостов, опор мостовых ферм, панелей для высотных сборных сооружений и др.; в химической промышленности – для автоклавов, цистерн, аппаратов сернокислотного производства, емкостей для хранения и перевозки нефтепродуктов и др.; в текстильной промышленности – для деталей прядильных машин, ткацких станков и др.; в сельскохозяйственном машиностроении – для режущих частей плугов, дисковых коси-

лок, деталей тракторов и др.; в бытовой технике – для деталей стиральных машин, рам гоночных велосипедов, деталей радиоаппаратуры и др.

Применение композиционных материалов в ряде случаев требует создания новых методов изготовления деталей и изменения принципов конструирования деталей и узлов конструкций.

6.11. Наноматериалы

Наноматериалы – это класс материалов, которые относятся к новой, более широкой области знаний, получившей значительное развитие в XXI в. и называемой «нанотехнологии».

На сегодняшний день в мире нет стандарта, описывающего, что такое нанотехнологии, что такое нанопродукция. Согласно «Концепции развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года» (2004 г.) нанотехнология определяется как совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм хотя бы в одном измерении. В результате этого объекты получают принципиально новые качества, позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба. В более широком смысле термин «нанотехнологии» охватывает методы получения, исследования и использования таких объектов.

Попробуем описать термин «нанотехнология». Это междисциплинарная область фундаментальной и прикладной науки и техники, имеющая дело с совокупностью теоретического обоснования, практических методов исследования, анализа и синтеза, а также методов производства и применения продуктов с заданной атомной структурой путем контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами.

Практический аспект нанотехнологий включает в себя два основных направления: производство наноустройств и компонентов, необходимых для их создания, и создание наноматериалов. Второе направление включает в себя способы обработки атомов и манипуляции атомами, молекулами и наночастицами для получения материала с заданными свойствами. Подразумевается, что не обязательно объект должен обладать хоть одним линейным размером менее 100 нм – это могут быть макрообъекты, атомарная структура которых создается контроли-

руемо или содержит наноразмерные области особой структуры, либо же содержащие в себе нанообъекты.

Нанотехнологии качественно отличаются от традиционных дисциплин, поскольку на таких масштабах привычные, макроскопические технологии обращения с материей часто неприменимы, а микроскопические явления, пренебрежительно слабые на привычных масштабах, становятся намного значительнее: свойства и взаимодействия отдельных атомов и молекул или агрегатов молекул (например, силы Ван-дер-Ваальса), квантовые эффекты.

Нанотехнология и в особенности молекулярная технология – новые, очень мало исследованные дисциплины. Основные открытия, предсказываемые в этой области, пока не сделаны. Тем не менее проводимые исследования уже дают практические результаты. Использование в нанотехнологии передовых научных достижений позволяет относить ее к высоким технологиям.

Первые предположения о возможности исследования объектов на атомном уровне можно встретить в книге «Opticks» Исаака Ньютона, вышедшей в 1704 г.: Ньютон выражает надежду, что микроскопы будущего когда-нибудь смогут исследовать «тайны корпускул».

Многие источники, в первую очередь англоязычные, первое упоминание методов, которые впоследствии будут названы нанотехнологией, связывают с известным выступлением Ричарда Фейнмана (1918–1988) «В том мире полно места» в Калифорнийском технологическом институте на ежегодной встрече Американского физического общества (1959 г.). Ричард Фейнман предположил, что возможно механически перемещать одиночные атомы при помощи манипулятора соответствующего размера, по крайней мере, такой процесс не противоречил бы известным на сегодняшний день физическим законам.

Впервые термин «нанотехнология» употребил Норрио Танигути (1912–1999) в 1974 г. Он назвал этим термином производство изделий размером несколько нанометров. В 1980-х гг. этот термин использовал Эрик Дрекслер (род. в 1955 г.) в своей книге «Машины создания: Грядущая эра нанотехнологии» и др. Центральное место в его исследованиях играли математические расчеты, с помощью которых можно было проанализировать работу устройства размерами в несколько нанометров.

Современная тенденция к миниатюризации показала, что вещество может иметь совершенно новые свойства, если взять очень маленькую частицу этого вещества. Частицы размерами от 1 до 100 нанометров обычно называют наночастицами. Так, например, оказалось, что нано-

частицы некоторых материалов имеют очень хорошие каталитические и адсорбционные свойства. Другие материалы показывают удивительные оптические свойства: например, сверхтонкие пленки органических материалов применяют для производства солнечных батарей. Такие батареи дешевле обычных солнечных батарей и могут быть механически гибкими. Удастся добиться взаимодействия искусственных наночастиц с природными объектами наноразмеров – белками, нуклеиновыми кислотами и др., что делает наночастицы перспективным материалом для медицины.

Тщательно очищенные наночастицы могут самовыстраиваться в определенные структуры. Такая структура содержит строго упорядоченные наночастицы и зачастую проявляет необычные свойства. Существуют нанокompозиты – материалы, полученные введением наночастиц в какие-либо матрицы.

Поскольку многие физические и химические свойства наночастиц, в отличие от объемных материалов, сильно зависят от их размера, в последние годы проявляется значительный интерес к методам измерения размеров наночастиц в растворах: анализ траекторий наночастиц, динамическое светорассеяние, седиментационный анализ, ультразвуковые методы.

Один из важнейших вопросов, стоящих перед нанотехнологией, – как заставить молекулы группироваться определенным способом, самоорганизовываться, чтобы в итоге получить новые материалы или устройства. Для этого ученые изучают не только отдельные молекулы, а взаимодействия между молекулами, которые способны упорядочить молекулы определенным способом (рис. 6.11).

В силу того что нанотехнология – междисциплинарная наука, для описания происходящих процессов привлекают и биологию, и химию, и физику. Одним из относительно новых методов исследований в области нанотехнологии является сканирующая зондовая микроскопия (один из вариантов сканирующей туннельной микроскопии). С помощью сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) можно не только увидеть отдельные атомы, но и избирательно воздействовать на них, в частности перемещать атомы по поверхности. Ученым уже удалось создать двумерные наноструктуры на поверхности, используя данный метод.

Первыми наноматериалами стали углеродные наноматериалы (рис. 6.11), например углеродные нанотрубки – протяженные цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свернутых в трубку гексагональных графитовых плоско-

стей (графенов) и обычно заканчивающиеся полусферической головкой. Фуллерены – молекулярные соединения, представляющие собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из четного числа трехкоординированных атомов углерода. Графен – монослой атомов углерода, полученный в октябре 2004 г. в Манчестерском университете. Графен можно использовать как детектор молекул (NO_2), позволяющий детектировать приход и уход единичных молекул. Носители зарядов в графене обладают высокой подвижностью при комнатной температуре, благодаря чему графен оказывается перспективным материалом, заменяющим кремний в интегральных микросхемах. За «передовые опыты с двумерным материалом – графеном» А. К. Гейму (род. в 1958 г.) и К. С. Новоселову (род. в 1974 г.) была присуждена Нобелевская премия по физике за 2010 г.

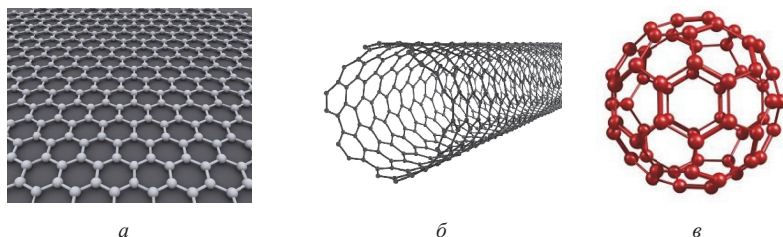


Рис. 6.11. Некоторые наноматериалы, созданные из атомов углерода: а – графен, б – углеродная нанотрубка; в – фуллерен C_{60}

Существуют и другие разработанные на основе наночастиц материалы с уникальными характеристиками, вытекающими из микроскопических размеров их составляющих. Однако все же следует признать, что время наноматериалов, по большому счету, еще не пришло. Это следует хотя бы из того, что перечисленные наноматериалы практически пока не получили значительного распространения в промышленности.

26 апреля 2007 г. Президент России Владимир Путин в послании Федеральному собранию назвал нанотехнологии наиболее приоритетным направлением развития науки и техники. Он предположил, что для большинства россиян нанотехнологии сегодня – некая абстракция вроде атомной энергии в 30-е гг. 8 октября 2008 г. создано Нанотехнологическое общество России, в задачи которого входит «просвещение российского общества в области нанотехнологий и формирование благоприятного общественного мнения в пользу нанотехнологического развития страны».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Всем известна классификация исторических периодов на каменный, бронзовый и железный века. Периодизация исторических периодов связана с материалами, представляющими соответствующую эпоху. Это говорит о том, что историческое развитие человеческой цивилизации основано на использовании определенных материалов, а следовательно, определяющую роль в этом развитии играют различные способы (технологии) обработки этих материалов для получения соответствующих изделий. Поэтому знакомство с основными материалами и технологиями промышленного производства в рамках курса «История науки о материалах и технологиях» актуально для студентов различных технических направлений.

Обработка материалов – старейшая область технологической и инженерной мысли. Еще в древнейшие времена технологии обработки материалов разделились на несколько крупных разделов, таких как металлургия, технологии литейного производства, технологии обработки металлов давлением, технологии соединения материалов, технологии обработки материалов резанием. В пределах каждого раздела на протяжении всей истории человечества происходили различные изменения, усовершенствования. Одни технологии появлялись (изобретались), от других человечество отказывалось в силу их недостаточной эффективности в сложившихся экономических, технологических и других условиях. До XX в. материаловедение было разделом металлургии. В начале XX в. развитие теории и методов исследования материалов и сделало материаловедение отдельной наукой.

Применение того или иного технологического процесса зависит от множества обстоятельств: уровня научно-технического развития общества, экономических условий производства, квалификации рабочей силы, наличия того или иного оборудования и пр. При выборе оптимальной технологии получения изделия необходимо руководствоваться пониманием процессов, протекающих в металле, и особенностями его обработки. Поэтому фундаментом, на котором стоит практика, является знание процессов, протекающих при различной обработке. Такое понимание возможно только в том случае, если студент или инженер знаком не только с современными технологиями, но и с технологиями, применявшимися на протяжении всей истории человечества. Как показывает производственная практика, в технологиях никогда не происхо-

дит полного забвения каких-либо способов, потерявших актуальность в сложившихся обстоятельствах. Проходят годы, и способ обработки материалов возвращается, но уже на новом технологическом уровне.

Знание истории науки о материалах и технологиях позволит бакалавру практически любого инженерного направления, связанного с машиностроением, принимать грамотные решения при выборе вида обработки и ее режима для получения заданного изделия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 10 самых больших колоколов в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://venividi.ru/node/26302>.
2. Агрикола, Г. О горном деле и металлургии в двенадцати книгах (главах) / Г. Агрикола. – М.: Недра, 1986. – 294 с.
3. Арзамасов, Б. И. Металловедение: учебник для вузов / Б. И. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин. – М.: Изд-во МГТУ им. М. Э. Баумана, 2003. – 648 с.
4. Бахтизин, Р. З. Сканирующая туннельная микроскопия – новый метод изучения поверхности твердых тел // Опубликовано в Соросовском образовательном журнале, № 11, 2000 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1182775&uri=page1.html#history>.
5. Беккерт, М. Железо. Факты и легенды / М. Беккерт. – М.: Металлургия, 1988. – 240 с.
6. Беккерт, М. Мир металла / М. Беккерт. – М.: Мир, 1980. – 152 с.
7. Белькинд, Л. Д. История техники / Л. Д. Белькинд, И. Я. Конфедератов, Я. А. Шнейберг. – М.: Госэнергиздат, 1956. – 492 с.
8. Богаевский, Б. Л. Очерки истории техники докапиталистических формаций / Б. Л. Богаевский, И. М. Лурье, П. Н. Шульц, Е. Ч. Скржинская, Е. А. Цейтлин. – М.: Изд-во АН СССР, 1936. – 461 с.
9. Бодяко, М. Н. Сверхтвердые материалы и техника / М. Н. Бодяко, С. А. Астапчук. – М.: Знание, 1970. – 30 с.
10. Венецкий, С. И. В мире металлов / С. И. Венецкий. – М.: Металлургия, 1988. – 168 с.
11. Венецкий, С. И. Рассказы о металлах / С. И. Венецкий. – М.: Металлургия, 1980. – 157 с.
12. Венецкий, С. И. От костра до плазмы / С. И. Венецкий. – М.: Знание, 1986. – 208 с.
13. Венецкий, С. И. О редких и рассеянных (Рассказы о металлах) / С. И. Венецкий. – М.: Металлургия, 1980. – 123 с.
14. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.wikipedia.org/>.
15. Владимиров, Л. П. Что такое литье? / Л. П. Владимиров. – М.: Машиностроение, 1981. – 136 с.
16. Гордон, Л. М. Металлургия без отходов / Л. М. Гордон. – М.: Московский рабочий, 1986. – 141 с.

17. Гуревич, Ю. Г. Загадка булатного узора / Ю. Г. Гуревич. – М.: Знание, 1985. – 200 с.
18. Гуревич, Ю. Г. Металлурги изобретают / Ю. Г. Гуревич. – М.: Металлургия, 1990. – 108 с.
19. Дальский, А. М. Технология конструкционных материалов / А. М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2003. – 349 с.
20. Дмитриевич, А. Технология металлов и других конструкционных материалов / А. Дмитриевич. – Минск: Высшая школа, 1968. – 492 с.
21. Жолондковский, О. И. Бой с пожирателями металла / О. И. Жолондковский, Ю. А. Лебедев. – М.: Знание, 1984. – 144 с.
22. Загорский, Ф. Н. Очерки по истории металлорежущих станков / Ф. Н. Загорский. – Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 284 с.
23. Займовский, В. А. Необычные свойства обычных металлов / В. А. Займовский, Т. Л. Колупаева. – М.: Наука, 1984. – 192 с.
24. Зворыкин, А. А. История техники / А. А. Зворыкин, П. И. Осьмова, В. И. Чернышев, С. В. Шухардин. – М.: Соцэргиз, 1962. – 772 с.
25. Зубков, Л. Б. Космический металл (Все о титане) / Л. Б. Зубков. – М.: Наука, 1987. – 128 с.
26. История создания кузнечно-штамповочного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://izabellacherkasova.narod2.ru/index/0-12>.
27. Казаков, Б. И. Осколки Луны / Б. И. Казаков. – М.: Знание, 1991. – 144 с.
28. Корниенко, А. Н. У истоков «электрогефеста» / А. Н. Корниенко. – М.: Машиностроение, 1987. – 168 с.
29. Кудрявцев, П. С. История физики и техники / П. С. Кудрявцев, И. Я. Конфедератов. – Л.: Учпедгиз, 1959. – 508 с.
30. Ламан, Н. К. Развитие техники обработки металлов давлением с древнейших времен до наших дней / Н. К. Ламан. – М.: Наука, 1989. – 236 с.
31. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов: учеб. издание / Ю. М. Лахтин. – М.: Металлургия, 1975. – 407 с.
32. Лебедев, В. И. Занимательная техника в прошлом / В. И. Лебедев. – М.: Время, 1955. – 197 с.
33. Лебедев, Ю. А. Второе дыхание марафонца (о свинце) / Ю. А. Лебедев. – М.: Металлургия, 1990. – 144 с.
34. Липсон, Г. Великие эксперименты в физике / Г. Липсон. – М.: Мир, 1972. – 215 с.

35. Мезенин, Н. А. Занимательно о железе / Н. А. Мезенин. – М.: Металлургия, 1972. – 200 с.
36. Орд-Хьюм А. Вечное движение (История одной навязчивой идеи) / А. Орд-Хьюм. – М.: Знание, 1980. – 272 с.
37. Ошарин, А. В. История науки и техники: учебно-методическое пособие / А. В. Ошарин, А. В. Ткачев, Н. И. Чапагина. – СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2006. – 143 с.
38. Пархутик, П. А. Сплавы будущего / П. А. Прахутик. – Минск: Наука и техника, 1984. – 124 с.
39. Савицкий, Е. М. Металлы космической эры / Е. М. Савицкий, В. С. Клячко. – М.: Металлургия, 1978. – 120 с.
40. Словарь нанотехнологических и связанных с нанотехнологиями терминов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://thesaurus.rusnano.com/>.
41. Соболев, Е. Г. Тверже алмаза (очерки) / Е. Г. Соболев. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 192 с.
42. Технология конструкционных материалов / сост. А. М. Дальский, Т. М. Барсукова, Л. Н. Бухаркин и др. – М.: Машиностроение, 2002. – 511 с.
43. Технология конструкционных материалов / сост. Г. А. Прейс, Н. А. Сологуб, И. А. Рожнецкий и др. – Киев: Высшая школа, 1991. – 391 с.
44. Тимошенко, С. П. История науки о сопротивлении материалов с краткими сведениями из истории теории упругости и теории сооружений / С. П. Тимошенко. – М.: Изд-во тех.-теоретической лит-ры, 1957. – 536 с.
45. Федоров, А. С. Творцы науки о металле (Очерки о творчестве отечественных ученых металлургов и металловедов) / А. С. Федоров. – М.: Наука, 1969. – 223 с.
46. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов / Г. П. Фетисов. – М.: Высшая школа, 2001. – 318 с.
47. Холден, А. Что такое ФТТ (Основы современной физики твердого тела) / А. Холден. – М.: Мир, 1971. – 270 с.
48. Черноусов, П. И. Металлургия железа в истории цивилизации / П. И. Черноусов, В. М. Мапельман, О. В. Голубев. – М.: МИСиС, 2005. – 422 с.
49. Шалимова, Н. И. Черная металлургия – что это? / Н. И. Шалимова. – М.: Металлургия, 1986. – 230 с.
50. Шамбаров, В. Правда Руси // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.zavtra.ru/content/view/pravda-rusi-4/>.

51. Штейнберг, А. С. Репортаж из мира сплавов / А. С. Штейнберг. – М.: Наука, 1989. – 256 с.
52. Энциклопедия для детей. Т. 1. Всемирная история / сост. С. Т. Исмаилова. – М.: Аванта+, 1996. – 704 с.
53. Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1 / глав. ред. В. Володин. – М.: Аванта+, 2003. – 448 с.
54. Энциклопедия для детей. Т. 17. Химия / глав. ред. В. Володин. – М.: Аванта+, 2004. – 640 с.
55. Энциклопедия для детей. Т. 35 История Средних веков / ред. коллегия: А. Голосовская, М. Боярский, О. Лесняк. – М.: Мир энциклопедий, Аванта+, Астрель, 2008. – 525 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Исторические периоды, классификация процессов обработки материалов и основные материалы древности и наших дней	5
1.1. Хронологическая система исторических периодов.....	5
1.2. Классификация технологических процессов обработки материалов.....	8
1.3. Основные материалы древности и наших дней	15
Глава 2. Зарождение и формирование технологий обработки материалов (с древнейших времен до XV в.)	18
2.1. Первобытные периоды жизни человека.....	18
2.2. Знакомство человека с металлом. Бронзовый и начало железного века	30
2.3. Технологии обработки материалов в Древнем мире и античности.....	43
2.4. Общественная жизнь и технологии Средневековья	84
Глава 3. Развитие технологии обработки материалов в период мануфактурного производства (XV – конец XVIII в.)	119
3.1. Новое время	122
3.2. Совершенствование металлургии железа в период мануфактурного производства	125
3.3. Технологии обработки материалов в период мануфактурного производства	138
3.4. Развитие образования и науки в Новое время	144
3.5. Металлургия России в XVII–XVIII вв.	157
3.6. Развитие металлургии Англии в XVII–XVIII вв.	165
3.7. Развитие металлургии Франции в XVII–XVIII вв.	179
3.8. Кризис гидроэнергетики.....	185
3.9. Возникновение машиностроительного производства	190
Глава 4. Технологии обработки материалов в период становления машинно-фабричного производства (конец XVIII – 70-е гг. XIX в.)	198
4.1. Особенности развития металлургии в условиях машинно-фабричного производства.....	201
4.2. Металлургия Англии в XIX в.....	202
4.3. История мартеновского процесса	209

4.4. Металлургия России в XIX в.	215
4.5. Совершенствование обработки металлов давлением в период машинно-фабричного производства	222
4.6. Совершенствование технологий соединения материалов в период машинно-фабричного производства.....	242
4.7. Совершенствование обработки металлов резанием в период машинно-фабричного производства.....	248
4.8. Развитие химии и открытие электрической дуги.....	251
Глава 5. Технологии обработки материалов в условиях перехода производства к непрерывным процессам и автоматизированным системам (70-е гг. XIX – XX в.) ...	261
5.1. Применение электричества и совершенствование металлургии в первой половине XX в.	263
5.2. Совершенствование технологии обработки металлов давлением в конце XIX – начале XX в.	274
5.3. Совершенствование литейного производства в XX в.	289
5.4. Изобретение и совершенствование электрической сварки ...	301
5.5. Металлообрабатывающая отрасль	320
5.6. Развитие транспорта и химии в XX в.....	327
5.7. Развитие методов исследования структуры и контроля качества материалов.....	334
5.8. Успехи металлофизики и материаловедения.....	344
5.9. Новые материалы в промышленности	361
Глава 6. Некоторые перспективные материалы и технологии обработки материалов.....	370
6.1. Технология бактериального выщелачивания металлов.....	370
6.2. Высокоэнергетические способы обработки материалов.....	372
6.3. Заводы-автоматы	380
6.4. Промышленные роботы.....	381
6.5. Будущее формовки	384
6.6. Обработка материалов с помощью сверхвысоких давлений.....	385
6.7. Трехмерная печать изделий.....	388
6.8. Сканирующая туннельная микроскопия.....	390
6.9. Металлы с памятью формы.....	393
6.10. Композиционные материалы	396
6.11. Наноматериалы	399
Заключение.....	403
Библиографический список.....	405

Учебное издание

Носков Федор Михайлович
Масанский Олег Александрович
Манушкина Маргарита Михайловна
Зограф Федор Георгиевич
Лыткина Светлана Игоревна

ИСТОРИЯ НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ И ТЕХНОЛОГИЯХ

Редактор *Л. А. Киселева*
Корректор *Е. Г. Иванова*
Компьютерная верстка *О. А. Кравченко*

Подписано в печать 01.03.2016. Печать плоская. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 25,75. Тираж 100 экз. Заказ № 3062

Библиотечно-издательский комплекс
Сибирского федерального университета
660041, Красноярск, пр. Свободный, 82а
Тел. (391) 206-26-67; <http://bik.sfu-kras.ru>
E-mail: publishing_house@sfu-kras.ru