



Гуревич Юрий Григорьевич - заслуженный деятель науки и техники России, доктор технических наук, профессор, почетный гражданин города Златоуста, почетный работник высшего профессионального образования, почетный профессор Южно-Уральского государственного университета (Златоустовский филиал), Лауреат Всесоюзного конкурса на лучшее произведение научно-популярной литературы, член

Ученого совета Политехнического музея (Москва), автор 35 монографий, книг и учебных пособий по технологии металлов, теории и истории металлургии.

Книга содержит много малоизвестных фактов из истории производства чугуна и стали в различных странах.



**Ю.Г. ГУРЕВИЧ**

# **ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА И СТАЛИ**

**Монография**



Курганский  
государственный  
университет

редакционно-издательский  
центр  
43-38-36

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ю.Г. ГУРЕВИЧ

**ОЧЕРКИ  
ПО ИСТОРИИ ПРОИЗВОДСТВА  
ЧУГУНА И СТАЛИ**

МОНОГРАФИЯ

Курган 2011

УДК 669.1 (09)  
ББК 34.32 - 03  
Г 95

**Рецензенты:**

заведующий кафедрой материаловедения Тюменского государственного нефтегазового университета, Заслуженный деятель науки и техники РФ, д-р техн. наук, профессор **И.М. Ковенский**;

заведующий кафедрой «Общая металлургия» Златоустовского филиала Южно-Уральского государственного университета, профессор **В.А. Чуманов**.

Печатается по решению научного совета Курганского государственного университета

Г 95 Гуревич Ю.Г. Очерки по истории производства чугуна и стали:  
Монография. - Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2011.  
- 82 с.

Книга включает очерки по истории производства чугуна и стали в Китае, Индии, Японии, странах Малой Азии, Европы и России. Излагается история производства булатной стали, легированных сталей, совершенствования металлургических процессов в Европе. Показана ведущая роль русской металлургии в XIX-XX столетиях.

Монография предназначена для преподавателей, аспирантов и студентов вузов, обучающихся на технических специальностях, представляет интерес для историков и инженерно-технических работников промышленных предприятий.

Рис.-10, табл. - 4, библиогр. -20.

УДК 669.1 (09)  
ББК 34.32 - 03

ISBN

© Курганский  
государственный  
университет, 2011  
© Гуревич Ю.Г., 2011

## Глава 1. ВЕК ЖЕЛЕЗА

Первые образцы железа, которые держали в руках наши предки, были неземного, метеоритного происхождения. При раскопках Эль-Обейда (Судан) и Ура (Месопотамия) были найдены два предмета из метеоритного железа, которые относят к IV — III векам до нашей эры. 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 веке до нашей эры египтяне применяли магнитные иглы, указывающие на юг, зеркала из полированного железа.

Использовать метеоритное железо было непросто, оно куется только в холодном состоянии. Сохранилась легенда о том, как эмир Бухары приказал своим лучшим оружейникам отковать меч из куска «небесного железа». Как ни старались кузнецы, у них ничего не получилось. За невыполнение приказа эмира кузнецы поплатились жизнью. А дело было в том, что при нагревании метеоритное железо становится хрупким.

Древние египтяне называли железо «ваасперс» - «родившееся на небе», а древние копты называли его «камнем неба». То, что железо, с которым люди познакомились впервые, «упало с неба», подтверждает суеверный запрет у некоторых народов его использовать и даже прикасаться к нему. Римским и сабинским жрецам было запрещено дотрагиваться до железа, поэтому они брились только бронзовыми бритвами и стриглись бронзовыми ножницами. Всякий раз, когда в священную рощу арвальских братьев в Риме вносили железный гравировальный инструмент, чтобы высечь на камне надпись, нужно было принести искупительную жертву в виде ягненка или свиньи. Народность бодуви, живущая на острове Ява, до сих пор не использует при вспашке полей железных орудий.

Запрет прикасаться к железу напоминает восточные законы, запрещающие прикасаться к верховным правителям, считавшимся священными. Известно, что под страхом смертной казни запрещалось притрагиваться к сиаемскому владыке, без особого разрешения никто не имел права прикасаться к королю Камбоджи. Однажды, когда он выпал из перевернувшегося экипажа, никто из его свиты

не осмелился ему помочь. Он долго лежал без чувств на земле, пока его не поднял подоспевший к месту происшествия европеец и не привел во дворец.

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 недавнего времени считали многие историки металлургии. Археологические находки железа, относящиеся к II тысячелетию до нашей эры, а также упоминания о нем в древних документах довольно часты. Около 1800 года до нашей эры царь Пурушханды передал хеттскому правителю Аниттасу символы верховного владычества — железный трон и железный скипетр. Сохранилось письмо Тушратты, царя северомесопотамского государства Митании, фараону Аменхотепу III (XV век до нашей эры), извещающее о посылке ему в дар кинжала с железным клинком. У хеттов наиболее важные документы вырезались на железных табличках. Хеттские законы устанавливали цену на железо. Оно стоило в 6400 раз дороже меди, в 20 раз дороже серебра, в 5 раз дороже золота. В конце бронзового века железо сравнительно широко распространяется и становится гораздо дешевле. В документе XIII века до нашей эры из Угарита (территория сегодняшней Сирии) железо уже лишь в 2 раза дороже серебра.

Интересно, что упоминание о железе в «Илиаде» и «Одиссее» имеет разный смысл. Сам Гомер жил в железном веке, но его эпос относится к Микенской Греции бронзового века. Поэтому оружие всех гомеровских героев, в том числе и то, что Гефест лично кует для Ахилла, медное. Железо же у Гомера имеет три основных значения. Во-первых, оно фигурирует в качестве «небесного металла», «металла богов» - ось колесницы Геры и Ворота Тартара (олимпийского ада) сделаны из железа. Во-вторых, железо - сокровище. Троянские вожди, попав в плен, предлагают за себя выкуп «много и меди и злата и хитрых изделий железа». В-третьих, слово «железо» так же, как и в наше время, используется во фразеологических оборотах. Гекуба, обращаясь к Приаму, восклицает: «У тебя ль не железное сердце?»

Таким образом, греки бронзового века и народы Древнего Востока были хорошо знакомы с железом. Но было ли это железо, полученное из руды? Установлено, что в природе все же встреча-

ется самородное железо. Крупное скопление его найдено, например, на южном берегу острова Диско у берегов Гренландии. Оно залегало в базальте в виде блесков, зерен и даже мощных глыб. В отличие от метеоритного железа самородное содержит гораздо меньше никеля, очень мало углерода.

И все-таки многие историки утверждают, что древние греки получали железо из руды. Они обращают внимание, что Гомер постоянно использует со словом «железо» эпитет, который обычно переводят как «хитрое изделие», «красивое изделие», но дословно он означает «многотрудное», изготовленное с большим трудом. Есть и другие доказательства в пользу версии о распространении выплавки железа из руд в конце бронзового века.

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

На Ближнем Востоке, в Закавказье и в Восточном Средиземноморье переход к массовому железному производству произошел только в XII—XI веках до нашей эры. С этого времени и начинается «век железа», который продолжается до сих пор. Однако к массовому производству железа в разных странах приступали в разные времена. В Египте полная смена каменных орудий железными произошла в 671 году до нашей эры после завоевания его Ассирией. Примерно в то же время начался железный век в Индии, а через 100 лет - в Китае. Правда, есть сведения, что в Китае вплоть до этого времени умели получать высокофосфористое железо. Китайцам были известны способы получения железа с помощью добавок в раздробленную руду так называемой «черной земли», которая содержала много фосфатов. Сегодня известно, что если в шихту внести 6% фосфора, то температура плавления железа снижается до 950-1130°C.

## Глава 2. ЧУГУН

Совершенствование сыродутного процесса в начале нашей эры позволяло получать в горне температуры 1000-1100 °С, и этого было достаточно, чтобы получать крины 20-25 кг. После изобретения гидравлического колеса, которое увеличило мощность мехов и позволило вдвухать в горн большее количество воздуха под более высоким давлением, температура сыродутного процесса повысилась до 1250-1350 °С. Это привело к тому, что в сыродутных печах вместе с тестообразной крицей и жидким шлаком начали получать очень жидкий металл со странными свойствами: он был хрупок и не подвергался ковке. Это был чугун, температура плавления которого составляет 1150-1200 °С.

Поскольку чугун не мог заменить железо, ему давали нелестные названия - «вода», «чугунная свинка», «чушка». В Англии чугун называли «свинским железом» (pig iron), а в Швейцарии «поганый камень» (Granlach).

Между тем, в Китае технология выплавки чугуна была известна с II-IV вв. до н. э. Китайцы, заметив хорошие литейные свойства чугуна, нашли ему применение. Этому способствовало еще и то обстоятельство, что страна располагала высококачественными огнеупорными глинами для кладки печей. И из этих же глин научились делать огнеупорные тигли.

Каменный уголь, позволяющий обеспечивать высокую температуру, китайцы начали использовать в качестве топлива с IV в., а возможно и раньше. Один из методов выплавки чугуна состоял в следующем: железная руда укладывалась штабелями в вытянутые в форме трубы плавильные тигли, которые обкладывались каменным углем. Затем уголь поджигали. Такая технология наряду с прочим исключала присутствие серы в чугуне.

Известно, что присутствие в каменном угле серы долгие годы сдерживало его применение в доменном процессе.

Широкое распространение чугуна в Древнем Китае повлияло на многие сферы жизни. Из него делались лемехи для плугов, мотыги и другие сельскохозяйственные орудия. Появились чугунные топоры, молотки и другой инструмент. В чугунках готовили еду, даже игрушки стали делать из чугуна. В гробницах периода династии Хань (II в. до н. э. - II в. н. э.) были обнаружены чугунные фигурки различных животных. Были также найдены

чугунные формы (IV в. до н. э.) для отливки различных предметов, например, мотыг и топоров.

Мастерство в выплавке чугуна позволяло китайцам изготавливать горшки и лотки с очень тонкими стенками, чего не удавалось добиться с помощью других технологий. Это было особенно важно для массового производства соли методом выпаривания, для которого подходили только такие лотки. Для получения рассола, из которого добывали соль, стали бурить глубокие скважины и натолкнулись на природный газ. Энергия сжигаемого газа в свою очередь шла на выпаривание больших количеств рассола. Добыча соли вместе с производством чугуна и железа была монополизирована династией Хань в 119 году до н. э.

Достижением древней китайской металлургии является 13-метровая чугунная пагода Юцюань в Даньяне (провинция Хубэй). Это старейшее из дошедших до наших дней сооружений такого рода возведено в 1061 году.



***Рис.1. 13-метровая башня из чугуна в провинции Хубэй***



## Глава 3. ЗАГАДКА ЖЕЛЕЗНОЙ КОЛОННЫ В ДЕЛИ

Знаменитая железная колонна в Дели (Индия) была создана в 415 г. в честь победы одного из императоров династии Гупта. Ее высота составляет 7,2 м, диаметр у основания - 420 мм и у вершины - 320 мм. Колонна стоит уже более 1500 лет, и до настоящего времени на ней не обнаружено следов коррозии (окисления). В индийском городе Дхаре возвышается аналогичная, но больших размеров колонна, построенная в III веке.

Существовало множество вариантов объяснений необыкновенной атмосферостойкости железа, из которого сделаны индийские колонны. Один из них состоял в том, что колонны изготовлены из цельных кусков метеоритного железа, которое, как известно, обладает высокой коррозионной стойкостью. Но в метеоритном железе всегда содержится никель, а в железе колонн он не обнаружен. Тогда предположили, что колонна сделана из чистейшего железа, полученного при плавке на особом топливе. Действительно, содержание железа в делийской колонне составляет 99,72 %, в дхарской - значительно меньше, но и она сотни лет не подвергается коррозии.

Другое объяснение исключительной стойкости индийских колонн связано с сухим и чистым воздухом местности, где они установлены. Некоторые исследователи утверждали, что когда-то в атмосфере было повышенное содержание аммиака, которое в субтропическом климате Индии позволило получить на поверхности колонн защитный слой нитридов железа. Другими словами, колонны как бы азотированы самой природой.

Известны и более оригинальные точки зрения. Например, из-за того, что колонны считались священными, их обливали благовонными маслами, и поэтому они не ржавели. Существует даже предположение, что на колонны испокон веков залезали обнаженные индийские дети, а позднее о них «терлись» туристы. Таким образом, колонны постоянно смазывались кожным жиром.

Однако объяснить феномен индийских колонн оказалось значительно проще. В их составе обнаружено немного меди и повышенное содержание фосфора. В железе делийской колонны фосфор находится на уровне 0,114-0,180 %, а в дхарской -280 %.

По химическому составу железо колонн в Дели и Дхаре на-

поминает атмосферостойкую низкоуглеродистую строительную сталь COR-TEN, которая появилась в Соединенных Штатах Америки в 1930 г. Незащищенная поверхность этой стали под воздействием окружающей среды начинает окисляться. Образующиеся при этом продукты коррозии обладают высокой плотностью и очень крепко сцепляются с основным металлом, поэтому дальнейшая коррозия резко замедляется. Такие свойства стали COR-TEN обеспечивают находящиеся в ее составе медь, хром, никель и в большей степени фосфор, содержание которого достигает 0,15 %.



***Рис. 2. Знаменитая железная колонна в Дели (Индия)***

При взаимодействии меди, фосфора и хрома с кислородом, углекислым газом и парами воды образуются труднорастворимые соединения, которые входят в состав оксидной пленки, покрывающей сталь. В результате периодического увлажнения и высыхания защитные слои на ее поверхности полностью формируются в течение 1,5-3 лет, после чего разрушение металла от коррозии практически прекращается.

Сталь COR-TEN обладает еще двумя интересными особенностями. Если защитный слой повреждается, то с течением времени эти зоны «самозалечиваются», вновь защищая поверхность металла от коррозии. Другой особенностью атмосферостойкой стали

является специфическая «естественная» окраска защитного слоя, придающая металлу декоративные свойства. Защитный коррозионный слой, который иногда называют «благородной ржавчиной», с течением времени меняет свою окраску от светло-коричневого до коричневого, коричнево-фиолетового и черного цвета и напоминает бронзу или медь.

Содержание фосфора и меди в железе делийской и дхарской колонн такое же, как и в атмосферостойкой стали COR-TEN. Одни считают, что верхняя, недоступная человеку часть делийской колонны имеет бронзовый оттенок, из-за чего можно принять ее материал за медный сплав. Другие говорят, что верх колонны покрывает синевато-коричневая или синевато-черная пленка оксидов, по внешнему виду напоминающая защитную оболочку атмосферостойкой стали COR-TEN. Данное предположение дает основание утверждать, что разгадка секрета индийских колонн заключается в фосфористом железе, при окислении которого образуются тонкие защитные пленки оксидов, предохраняющие металл от дальнейшего окисления.

## Глава 4. МЕЧИ САМУРАЕВ

Мечи самураев, сделанные в XI—XIII вв., обладали необыкновенным качеством железа, которое после целого ряда проковок приобретало еще более высокую твердость и прочность, чем дамасская сталь. Мечи и сабли, приготовленные из этого железа, отличались удивительной вязкостью и необыкновенной остротой.

Уже в наше время был сделан химический анализ стали, из которой изготовлялось японское оружие в указанное время, и древнее оружие раскрыло свою тайну: в стали был найден молибден. Сегодня хорошо известно, что сталь, легированная молибденом, обладает высокой твердостью, прочностью и вязкостью. Молибден — один из немногих легирующих элементов, добавка которого в сталь вызывает повышение ее вязкости и твердости одновременно. Все другие элементы, кроме никеля, увеличивающие твердость и прочность стали, способствуют повышению хрупкости.

Естественно, что в сравнении с дамасскими клинками, сделанными из железа и стали, содержащей 0,6—0,8% углерода, японские мечи и сабли казались чудом.

Но означает ли это, что японцы умели в то далекое время делать легированную сталь? Конечно, нет. Что такое легированная сталь, они даже не знали, так же, как и не знали, что такое молибден. Металл молибден был открыт значительно позднее, в самом конце XVIII века шведским химиком К.В. Шееле.

По-видимому, дело обстоит так. Японские мастера получали кричное (восстановленное) железо из железистых песков рассыпных месторождений. Эти руды были бедны железом, и содержание вредных примесей в получаемой из них стали было довольно высоким. Но пески кроме окислов железа, содержали легирующие элементы. Они-то и обеспечивали металлу высокий уровень свойств.

Очевидно, японские мастера случайно заметили: если брать руду в каком-то определенном месте, то сталь, сделанная из нее, обладает особым качеством, а клинки из такой стали получаются крепкими и острыми. Они и не подозревали, что это явление наблюдалось потому, что в железных рудах, которые они использовали, содержалась окись молибдена — молибденит.

Современной наукой установлено, что получить молибден восстановлением его окислов углеродом при температуре 1200°C, как это делалось в древности, практически невозможно. В то же время

совместное восстановлением окислов железа и молибдена углеродом идет достаточно легко. Этим и объясняется удивительный факт получения в древности молибденовой стали.

Выплавленное из «песков» кричное железо проковывалось в прутья и закапывалось в болотистую землю. Время от времени прутья вынимали и снова зарывали, и так на протяжении 8—10 лет. Насыщенная солями и кислотами болотная вода разъедала прутки и делала его похожим на кусок сыра. Мастера именно к этому и стремились. Но зачем это им было надо?

Дело в том, что в процессе коррозии пористого железного прутка прежде всего разъедались и выпадали в виде ржавчины частички металла, содержащие вредные примеси. Железо с растворенной в нем легирующей добавкой противостояло коррозии и поэтому сохранилось.

Кроме того, полученный ноздреватый прутки обладал развитой поверхностью и при последующем науглероживании еще доковки обеспечивал сложное переплетение углеродистой стали и мягкого железа. Это переплетение еще больше усложнялось в процессе последующей многократной деформации в горячем состоянии.

Раскованный в полосу сплав мастер сгибал, складывал вдвое, расковывал в горячем состоянии и снова складывал, как слоеное тесто. В конечном счете число тончайших слоев в «слоеном пироге» достигало порой нескольких десятков тысяч. Известно, насколько такая операция упрочняет металл за счет образования колоссального количества клубков дислокаций и громадного увеличения их плотности. Последующая закалка клинка закрепляла высокие свойства, присущие молибденовой стали. Так на заре металлургии в Японии получали природнолегированную сталь, упрочненную пластической деформацией и термомеханической обработкой.

## Глава 5. ДОМЕННЫЙ ПРОЦЕСС

Со временем сыродутный процесс получения железа совершенствовался. Горн представлял собой уже каменную камеру квадратного сечения со стороной примерно 1,20 м - 2,0 м и высотой 1 м. Камеру заполняли глиной и формировали рабочее пространство грушевидной формы с отверстием в верхней, более узкой части. Железо и древесный уголь в такой горн загружались слоями. В передней стенке горна делалось отверстие для разогрева дровами, выпуска шлака и выгрузки готовой крицы. Воздух нагнетали через огнеупорную трубку (сопло) более мощными мехами. В таком горне температура процесса была поднята до 1000-1100 °С, и это позволяло получать крицы массой 20-25 кг. Существенными недостатками сыродутного процесса была низкая производительность и небольшая степень извлечения железа из руды - всего 50%. Поэтому в дальнейшем стремились повысить производительность посредством увеличения площади поперечного сечения горна и особенно его высоты. Но главное, значительно изменились температурные условия по высоте горна: в верхнюю его часть попадало меньше воздуха, и его температура понизилась, а в нижней части температура была значительно выше, поэтому там руда восстанавливалась быстрее. Шлака здесь еще было мало, и восстановленное железо поглощало углерод.

Когда было замечено, что чугун образуется там, где железо долго соприкасается с углем, его начали считать негодным продуктом, получающимся из-за расстроенного хода печи.

Вскоре люди научились использовать чугун как хороший литейный материал. Появились чугунные изделия. Потребность в чугуне способствовала созданию специального горна. Было обнаружено, что если сыродутную печь сделать достаточно высокой, загружать в нее слоями железную руду и древесный уголь и обеспечить вдувание большого количества воздуха, то можно получать только жидкий чугун. Печи для получения чугуна имели высокую шахту. Они обладали значительно большей производительностью, чем сыродутные, и позволяли в большей степени извлекать из руды железо.

Изготовление чугуна оказалось более выгодным процессом. Так техника подошла вплотную к доменному производству.

Свойства чугуна не давали возможности применять его широ-

ко для промышленных изделий. Вот если бы из чугуна удалось сделать углеродистую сталь! Эта проблема тоже была решена металлургами. Установили, что при нагревании чугуна в контакте с железной рудой и струей воздуха в специальных горнах можно получать железную крицу. В процессе нагрева чугун размягчался, плавился и взаимодействовал с кислородом руды и воздуха. В результате происходило окисление примесей чугуна и в первую очередь углерода. По мере окисления углерода температура плавления повышалась, и в конце концов получалась крица сварочного железа. Так, в XIII-XIV веках возник в Европе кричный способ передела чугуна в сталь. Распространение кричного производства железа и стали привело к широкому развитию доменного производства.

В России первые доменные печи были построены в 1632 году на речке Тулице, в 15 км от Тулы. Применение нового способа получения стали привело не только к значительному увеличению объема ее производства, но и к повышению качества металла. Стало возможным делать сталь для инструмента и оружия с содержанием углерода до 1,0%.

Появление доменного процесса и кричного передела чугуна не явилось революцией в металлургии. Первый технический переворот в металлургии, как и во всей промышленности, произошел позднее, в конце XVIII — начале XIX века.

## Глава 6. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В СРЕДНЕЙ АЗИИ В IX-XIII ВЕКАХ

При раскопках городища Ахсикет в Северной Фергане были обнаружены предметы и материалы, употреблявшиеся в производстве стали в XIII - начале IX века до н. э. Найдены в большом количестве фрагменты тиглей с остатками шлака, невосстановленный агломерат, свалка шлаков, полуобгоревших растений, древесного угля, флюсов (доломит), а также остатки горна. Все это дает основание предполагать, что в древнем Ахсикете умели выплавлять сталь тигельным процессом, тем самым процессом, который в 1740 г. изобрел англичанин Бенджамин Гентсман, основавший первую в Европе сталелитейную фабрику в Атерклифе близ Шеффилда.

Исследование археологических материалов позволило установить детали древнего способа производства стали. Среди обломков было найдено от 3 до 15 фрагментов одного тигля (рис. 3). По этим фрагментам определили, что тигли имели цилиндрическую форму и закрывались крышками. Изготавливались они из специально приготовленной жаростойкой смеси. С помощью химического и минераогического анализов установили, что смесь содержала одну часть песка и девять частей жаростойкой глины. Теплоустойкость такой огнеупорной массы составляла 1650 °С.

На внутренних стенках некоторых осколков тиглей были найдены остатки ткани. Можно предположить, что тигли изготавливали с помощью шаблона, представляющего собой матерчатый чулок, заполненный песком. Огнеупорную массу, видимо, размазывали по шаблону деревянным или металлическим инструментом. Доказательством тому служит тот факт, что тигли имеют рифленую поверхность. Встречается как вертикальное, так и косое рифление. Чем толще и массивнее стенки тиглей, тем шире грань.

После формовки тигли сушили, а затем обжигали либо в специальных горнах, либо в тех горнах, в которых плавил металл. Можно предположить, что температура обжига тиглей была не менее 1200 °С. После сушки тиглей песок из шаблона высыпали, ткань оставалась на внутренних стенках изделий (следы ткани сохранились на многих фрагментах тиглей, которые не были использованы для плавки стали).

Судя по осколкам металлургии Ахсикета чаще применяли мас-



сивные тигли с толстыми стенками и широким (до 20 мм) вертикальным или косым рифлением. Днище тигля вогнутое, его диаметр составлял 80—95 мм. Внутренняя поверхность тиглей имела две разновидности: прямолинейные стенки от днища и слегка сужающиеся к венчику сосуда или стенки, расширяющиеся в нижней половине тигля и постепенно сужающиеся к венчику. Толщина стенок 15—18 мм, у венчика - до 5 мм. Тигли закрывались полусферическими крышками с отверстием посередине, диаметром 20-30 мм (иногда встречались крышки без отверстий), предназначенным для выхода газов во время плавки.

Обнаруженные в горнах остатки гравия дают основание предполагать, что для равномерного нагрева и исключения приваривания тигель со всех сторон обсыпали гравием. В этих условиях тигель можно было извлечь из горна после окончания процесса плавки. Все это свидетельствует о том, что древние металлурги выплавляли сталь при достаточно высокой температуре и длительное время.

Около горнов найдено много древесного угля, который использовали для подогрева тиглей, а также остатки обгоревшего камыша и других растений, обеспечивающих значительную температуру при горении.

Найденные во фрагментах верхней части тиглей стекловидные шлаки имели различный цвет (табл. 1) и химический состав (табл. 2). Часть шлаков (I.1, I.2, I.3), содержащих значительное количество FeO, можно отнести к начальному периоду плавки. Цвет шлаков и содержание в них 50-60% SiO<sub>2</sub> и 10-15% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> характерны для восстановительного кислого тигельного процесса. Значительное содержание CaO в некоторых шлаках (16—18%) свидетельствует о добавках извести (доломита) в агломерат. Очевидно, это делалось для удаления серы. В некоторых шлаках достаточно высокое содержание марганца, а в шлаках III.1 и III.3 обнаружены оксиды ванадия (последний придает кислому шлаку синий или сине-зеленый цвет). Оксидов хрома, молибдена, вольфрама, меди, титана и бора в шлаках не обнаружено.

Обращает на себя внимание сравнительно низкое содержание FeO в некоторых шлаках (II.1—II.3 и III.3). Это означает, что тигельная сталь достаточно хорошо раскислялась в период плавки. Относительно высокое содержание FeO в шлаках I.1—I.3 можно объяснить тем, что они относятся к начальному периоду

плавки. По диаграммам состояния систем  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ ;  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}$  и  $\text{SiO}_2\text{-MnO-FeO}$  были определены температуры плавления шлаков. Для первых двух систем они оказались выше 1500 °С. Состав и температура плавления шлаков подтверждают предположение о том, что в Ахсикете в IX – XIII веках знали технологию тигельного процесса и плавил сталь, причем часть ее была легирована ванадием.

Таблица 1

*Изменение цвета шлака в тигле*

Группа и номер пробы	Цвет шлака	
	снизу	сверху
1.1	Песочный	Темно-коричневый
1.2	Песочно-зеленоватый	Коричневый
1.3	Коричнево-зеленоватый	Темно-коричневый
II.1	Зеленый	Зеленый
II.2	Серо-синий	Серо-синий
II.3	Черный	Черный
III.1	Черный	Черный
III.2	Голубой	Зеленоваго-голубой
III.3	Зеленоваго-голубой	Зеленоватый

Таблица 2

*Химический состав шлаков, %*

Группа и номер пробы	$\text{SiO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{FeO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{V}_2\text{O}_5$	P
I.1	49,49	19,00	3,50	2,27	13,69	7,18	Нет	0,028
I.2	51,50	14,00	3,85	2,52	14,14	14,18	Нет	0,028
I.3	38,41	15,30	3,57	2,72	28,64	5,67	Нет	0,046
II.1	58,64	19,03	5,25	2,34	5,31	13,04	Нет	0,020
II.2	61,20	15,93	5,78	2,66	4,72	10,55	Нет	0,020
II.3	50,19	20,13	8,93	2,77	5,41	15,50	Нет	0,020
III.1	56,09	10,24	17,50	2,50	7,89	15,50	0,67	-
III.2	51,85	13,24	16,37	0,41	12,03	9,44	1,08	-
III.3	59,06	16,31	16,90	1,46	5,03	13,60	1,01	-

Как уже упоминалось, в Ахсикете был также найден агломерат, который применялся в качестве исходного материала для выплавки стали. Агломерат представлял собой механическую смесь частиц руды, доломита и древесного угля.

Найдены камни, которые судя по их форме были предназначены для дробления шихтовых материалов. В табл. 3 приведен химический состав агломерата, найденного в виде спекшейся массы. Очевидно, тигель в начале плавки разрушился, и агломерат был выкинут на свалку.

Таблица 3

**Химический состав Ахсикетского агломерата**

Номер пробы	SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P
1	12,14	0,13	3,75	1,51	58,20	3,02	0,50	Остальное
2	8,76	0,72	8,68	1,08	61,30	2,61	2,14	Остальное

Образцы агломерата раздробили и поместили в алундовые тигли, которые нагревали до 1530 °С в печи сопротивления с графитовым нагревателем. После выдержки в течение 40 мин тигли охлаждали на воздухе. На дне тигля был обнаружен металл, перемешанный со шлаком. Тигли разбивали, содержимое дробили в мелкий порошок, металлическую часть отделяли магнитной сепарацией. Химический состав металла приведен в табл. 4.

Шлак после восстановления агломерата содержал 19,35 % SiO<sub>2</sub>; 4,91 % CaO; 0,76 % MgO; 0,77 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,56 %; V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; остальное – FeO.

Таблица 4

**Химический состав металла, %**

Номер пробы	C	Mn	Si	V	S	P
1	1,46	Нет	1,00	Нет	0,041	0,052
2	0,25-070		0,42	1,14-1,78	0,13	-

Высокое содержание FeO в шлаке связано с тем, что в верхней части тигля восстановительные процессы проходили не полностью.

Результаты экспериментов убедительно подтверждают возможность получения в Ахсикете высококачественной тигельной стали с относительно небольшим содержанием серы и фосфора, достаточно хорошо раскисленной.

Доказано, что выплавляемая в древнем Ахсикете сталь могла содержать до 2% ванадия. Нет ничего удивительного, что оружие и другие изделия из такой стали имели очень высокие качества.

В Ахсикете найдено огромное количество разбитых тиглей. Это говорит, с одной стороны, о большом объеме производства стали, а с другой - о том, что выплавленная сталь застывала в тигле, и для извлечения слитка тигель разбивали. Об этом же свидетельствуют стекловидные шлаки, найденные в тиглях, застывшие в верхней половине сосуда, а не на дне.

Слитки имели удлиненную (яйцевидную) форму с округленными ребрами. Высота слитка - 180 мм, диаметр 70-80 мм, примерная масса 2-2,5 кг. Такая масса слитка достаточна для изготовления двух клинков с минимальным количеством отходов при обработке. При раскопках были найдены кузнечные клещи, напильники и крючок для большегрузных весов. Следовательно, можно предположить, что здесь же изготавливали стальные изделия, в частности оружие.

Результаты исследования дают основание сделать предложение о существовании в древнем Ахсикете следующей технологии производства тигельной стали.

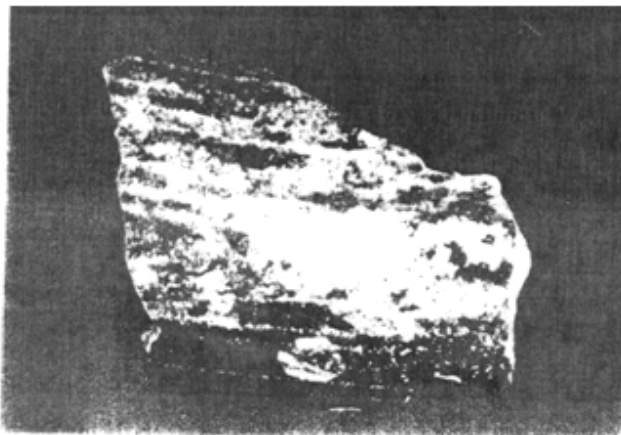
Огнеупорные тигли после изготовления сушили и обжигали. Руду, доломит и древесный уголь дробили и перемешивали. Полученную агломерационную шихту загружали в тигель. Последний помещали в горн, дно которого посыпали гравием. Сосуд, видимо, сразу не закрывали, а если и закрывали, то неполностью. Тигли обкладывали камышом и кустарниковыми растениями, которые при горении давали высокую температуру и не выделяли вредных для металла газов.

Когда тигли достигали необходимой температуры, начинался процесс восстановления оксидов железа углеродом древесного угля. По мере восстановления руды, появления шлака и металла уголь раскислял жидкий шлак и металлическую ванну, науглероживал сталь. В этот момент тигли плотно закрывали крышками, а газы, образовавшиеся в процессе плавки, удалялись через отверстия в них. В тигле создавалось избыточное давление, поэтому воздух не

мог попасть внутрь. Таким образом, тигельная плавка велась в среде, создаваемой монооксидом углерода (СО), и в сосуде протекали только восстановительные процессы. Фосфор во время плавки не удалялся. Для удаления серы в шихту могли добавлять доломит и найденные в Ахсикете запасы кальцинированной соды.

Состав агломерата обеспечивал по мере повышения температуры не только восстановление железа, но и образование жидкоподвижного шлака. Поскольку процесс шлакообразования шел быстрее процесса восстановления железа, жидкий легкоплавкий шлак первоначально опускался на дно сосуда. Об этом свидетельствует ошлакованная нижняя часть тигля. По мере восстановления и науглероживания железо плавилось и, будучи тяжелее шлака, опускалось вниз, а шлак всплывал.

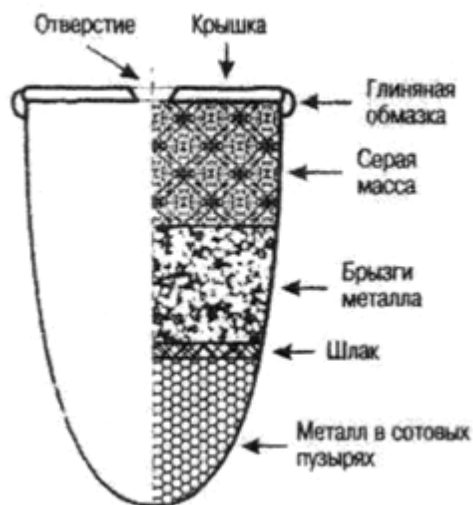
Атмосфера в тигле способствовала восстановлению шлака, а выдержка его над жидким металлом — распределению легирующих элементов между металлом и шлаком. В этот период сталь могла насыщаться марганцем, кремнием, а также ванадием, если его оксиды были в руде (агломерате). Кроме того, в этот же период должен был проходить процесс обессеривания жидкой металлической ванны. Судя по количеству FeO в конечных шлаках древние металлурги знали, в какой момент следует остановить дутье и закончить плавку. Тигель после окончания плавки оставался в горне до полного остывания. Остывший слиток вытаскивали, разбивая тигель.



*Рис. 3. Фрагмент тигля найденного в городище Ахсикет*

Тигельное производство стали, относящееся к IX—X вв., археологами было также найдено в Туркмении. На рис. 4 дан разрез тигля с остатками металла, найденный при раскопках городища Мерва.

Таким образом, раскопки в Средней Азии убедительно показали, что в средние века, еще до похода Тимура в Среднюю Азию и вывоза из Дамаска в Самарканд лучших мастеров по железу, существовал тигельный процесс производства стали.



*Рис. 4. Эскиз тигля, найденного в Туркмении*

## Глава 7. КОЛЬЧУГА ИЗ АРСЕНАЛА ТАМЕРЛАНА

Известно, что вплоть до конца XIV столетия в Дамаске изготавливали лучшее в мире оружие и доспехи. В 1370 г. в Самарканде к власти пришел великий эмир Тимур (Тамерлан). Для того, чтобы упрочить свою власть и удержать феодалов и кочевую знать от внутренних мятежей и междоусобиц, он начал большие завоевательные войны. В начале XV века (1401 г.) Тимур покорил Сирию и взял Дамаск. Город был сожжен, а оружейные мастера, издавна славившиеся лучшими специалистами своего дела, были переселены в Самарканд. В этот и другие города Средней Азии переселялись десятки тысяч ремесленников из Персии, Азербайджана, Герата и других завоеванных стран.

Для подрыва военной мощи Золотой Орды Тимур старался ликвидировать ее транзитную торговлю: он разрушил такие большие города, как Сарай-Берке, Астрахань, Азов, а также Ургенч. В результате вся средиземноморско-азиатская торговля направлялась только по караванным путям, проходившим через Иран, Армению, Грузию, Бухару, Самарканд. С этого времени начинается широкое распространение разнообразных способов изготовления изделий и доспехов в Средней Азии (Самарканд, Бухара) и на Кавказе (Грузия, Армения).

Есть сведения, что собранные в Самарканде мастера (их было около тысячи) были размещены в городской цитадели. Круглый год они работали на Тимура в специальной государственной мастерской, изготавливая латы, шлемы и различное оружие.

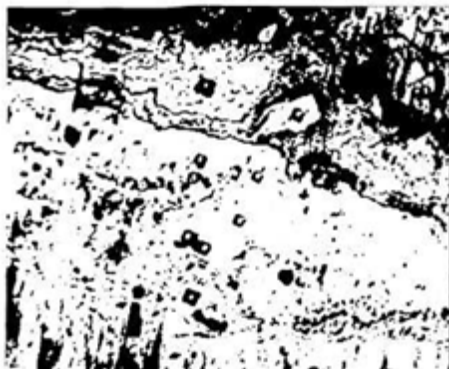
Подбитое красным сукном и изящно отделанное оборонительное оружие выглядело очень эффектно. При одном из въездов Тимура в столицу во время парадного шествия впереди несли до 3000 пар лат, которые поражали своей пышностью и красотой. Испанский посол, который видел и описал это шествие, утверждал, что данное оружие «не отличалось достаточной прочностью, уступая в этом отношении европейскому». Сегодня, почти 600 лет спустя, можно с уверенностью заключить, что испанский посол ошибался...

Не так давно на месте цитадели Тимура были проведены раскопки. Археологи расчистили помещение, в котором нашли более 2000 деталей доспехов, прочие железные предметы и два великолепных лука. К сожалению, железо доспехов было очень сильно

окислено, превратилось в окалину, и поэтому на первый взгляд его качество установить было невозможно. Химический анализ показал, что найденные предметы состоят в основном из оксидов железа. В небольшом количестве присутствуют оксиды хрома, кремния и кальция (до 2% каждый).

Присутствие в неметаллической фазе оксидов кремния и кальция свидетельствует о том, что сталь особой чистотой по неметаллическим включениям не обладала, поскольку оксиды кремния и кальция могли попасть в железо при его восстановлении из руды. Наличие в стали хрома, который образует карбиды, более твердые и износостойкие, чем цементит, возможно, было не случайным. Древние металлурги обнаружили, что если брать руду определенных месторождений, то полученное из нее железо обладает более высоким качеством. Конечно, они не могли знать, что это связано с тем, что в руде содержится хром.

В окисленных деталях кольчуги были найдены крошки сохранившегося металла, которых оказалось достаточно для проведения металлографического исследования. Приготовленные шлифы с крупинками стали после полировки покрывались темной пленкой. В процессе длительного травления поверхности шлифа 3%-м раствором азотной кислоты удалось выявить полосчатую структуру металла. Полосы в основном располагались в одном, продольном, направлении. Ширина полос составляла 150–200 мкм. На рис. 5 показана микрофотография крупинцы стали, найденной внутри детали «доспеха Тимура».



*Рис. 5. Микроструктура крупинки металла из деталей доспехов,  $\times 200$*



Микроструктура образцов под микроскопом имела три составляющих: светлую, светло-серую и темно-серую. Светлая составляющая представляет собой однофазную структуру с микротвердостью 18500-14500 МПа. Такая высокая твердость, соизмеримая с алмазом, как известно, характерна для карбидов. Результаты химического анализа исследуемого материала позволяют предположить, что эта составляющая является карбидом железа — первичным цементитом, содержащим небольшие количества карбидов хрома.

Светло-серая структура является многофазной, ее микротвердость составляет 7200-9250 МПа, что соответствует высокоуглеродистой стали с включениями вторичного цементита. Темно-серая составляющая имеет микротвердость 4000-4200 МПа, что соответствует структуре эвтектоидной стали.

Карбидная фаза (светлая структура) составляла 30—40% образца, светло- и темно-серая — 60-70%. Таким образом, «кольчуга Тимура» была изготовлена из лучшей стали того времени, названной позже дамаском, или булатом. Необходимо подчеркнуть, что по прочности и сопротивлению удару древняя кольчуга практически не уступала современным бронежилетам. Испанский посол ошибался, такого материала для изготовления защитного оружия Европа не знала вплоть до наших времен. В настоящее время подобный композиционный материал применяется для самых надежных пуленепробиваемых бронежилетов.

Кто же делал тимуровские доспехи? Утвердилось мнение, что изделия такого высокого качества изготавливали дамасские мастера, и именно они привезли в Самарканд секреты производства знаменитой стали. Результаты археологических исследований показали, что материал тимуровских кольчуг был известен в Средней Азии задолго до походов Тимура.

Кроме того, при раскопках городища Ахсикет в Северной Фергане (IX — начало XIII столетия н. э.) был найден инструмент, напоминающий современный напильник. На стальное основание, которое хорошо сохранилось, была прикреплена пластина из сплава, который оказался полностью окисленным. Исследованиями было установлено, что основание представляло собой углеродистую сталь с содержанием углерода 0,37 %. После травления стали была выявлена структура среднегольчатого мартенсита с небольшим количеством остаточного аустенита.

В сильно окисленной «рабочей» части напильника была найдена крупица металла, структура которой полностью соответствовала материалу доспехов из цитадели Тимура (рис.6). Это был древний булат. Под микроскопом в металле были обнаружены частички меди.



***Рис.6. Микроструктура рабочей части инструмента, x200***

Таким образом, как и в современном производстве, в древности твердый сплав припаивался к стальной пластине медью.

Сабли из такого же материала были найдены при раскопках древних городищ, относящихся к IX—X столетиям н. э. в Туркмении и Монголии.

Приведенное металлографическое исследование образцов древнего оружия свидетельствует о том, что оно было изготовлено из лучшего булата того времени — индийского вутца.

Результаты исследований доказали, что еще до Тимура индийский вутц изготавливали не только в Индии, но и в Средней Азии и применяли не только для оружия, но и в качестве инструмента для обработки материалов.

При раскопках Ахсикета были найдены женские украшения из индийского вутца, что говорит о том, что он был дорогим материалом.

Полученные данные дают основание предполагать, что секреты производства знаменитого дамаска (булата) попали в Самарканд и Среднюю Азию вообще не из Дамаска, а из Индии.

## Глава 8. ВУТЦ – ЛУЧШИЙ БУЛАТ ДРЕВНОСТИ

Установлено, что древний инструмент и «кольчуга Тамерлана» были сделаны из композиционного материала, в котором частицы стали перемешаны с частицами белого чугуна. Отсюда вывод: лучший булат древности - индийский вутц - являлся композиционным материалом сталь - белый чугун. Таким образом, предположение П.П. Аносова, что «в самих булатах углерод находится в различном состоянии», оправдалось.

Теоретически ледебурит образуется в сплавах железо-углерод, содержащих более 2% углерода. На практике в вутце могло быть и меньше углерода. Следовательно, древние металлурги использовали особые способы выплавки сплава, которые обеспечивали сохранение ледебурита.

Древним металлургам способ получения такого материала подсказала сама природа. Индусы знали тигельный процесс задолго до европейцев. Они владели также сыродутным процессом приготовления железа, которое содержало не более 0,1% углерода, однако плавить такое железо в тиглях долгое время не могли из-за высокой температуры плавления. Они получали также чугун, который легко плавился в тиглях, установленных в горне. В процессе охлаждения чугуна получали очень твердый, совершенно не поддающийся пластической деформации материал - белый чугун. Это привело к мысли смешать кусочки чугуна и железа и расплавить их в тигле.

Теперь представим, что смесь кусочков железа и чугуна помещена в тигель и нагревается до температуры 1250-1280 °С. В этом случае чугун в начале процесса плавится, а мягкое железо остается твердым. По мере нагревания сплава углерод из чугуна диффундирует в железо, и оно превращается в сталь. Если закончить плавку в тот момент, когда чугун еще полностью не расплавился, и быстро охладить сплав, то получится неоднородная масса, состоящая из частиц стали и белого чугуна.

Есть ли подтверждение тому, что именно так получали в древности индийский вутц? Да, есть. Не так давно в Хайдарабаде (Индия) было издано сочинение Аль-Бируни «Книга собрания (очерков) о познании драгоценных камней». В главе «О железе» автор сообщает несколько способов получения тигельной стали в

Средней Азии, Иране и Индии, относящихся к IX—XI векам. «Сталь по своему составу, - пишет Аль-Бируни, - бывает двух сортов: первый, когда в тигле плавится нармохан (кричное железо) и «вода» (чугун) его одинаковым плавлением, и они оба в нем соединяются так, что не отличны один от другого. И такая сталь пригодна для напильников и им подобных. Второй сорт получается, когда в тигле указанные вещества плавятся неодинаково и между ними не происходит совершенного смешения. Отдельные частицы их располагаются вперемешку, но при этом каждая из них видна по особому оттенку. Называется это фаранд. В мечах, которых их (два оттенка) соединяют, он высоко ценится».

Вутц в древности получали сплавлением железа с чугуном, не допуская полного растворения чугуна в железе. В Европе значительно позднее пришли фактически к такому же способу получения стали. Так, например, Реомюр еще в 1722 г. высказал идею о возможности превращения мягкого железа в сталь путем погружения его в жидкий чугун. В то время Европа еще не знала ни тигельного процесса, ни отражательных печей. Поэтому данная идея была осуществлена на Западе только в 1840—1860 гг. братьями Эмилем и Пьером Мартенами, которые сплавлением чугуна и лома на поду большегрузной отражательной печи впервые получили сталь.

Известно, что температуры, которые достигались в мартеновских печах, позволяли полностью расплавить чугун и железо и получить жидкую сталь. Поэтому Европа перешагнула «булатный период» производства стали, и булат с его высокими свойствами и неповторимыми узорами навсегда остался для нее тайной.

Итак, вутц получали простым неэнергоемким и высокопроизводительным способом: смесь мелких кусочков железа и чугуна нагревали в специальном тигле до 1250-1280°С. При этой температуре чугун плавился, а железо — нет. При появлении жидкой фазы тигель с металлом быстро охлаждали. Вот почему, в частности, вутц представлял собой лепешку небольшого диаметра и толщиной всего в один сантиметр: сплав должен был быстро охлаждаться, чтобы получился белый чугун.

Разработанная автором на основании описанного принципа технология производства вутца позволила получать слитки с волокнистой макроструктурой и ярко выраженной ледебуритной неоднородностью. Способ изготовления вутца основан на том, что

при определенных температурных условиях ледебурит сохраняется в расплаве, а особый режим охлаждения слитка позволяет фиксировать его в твердой фазе. Вутц представляющего собой композиционный материал, имеющий микроструктуру перлит-ледебурит (первичный цементит), общее содержание углерода в сплаве составляет 1,69 %.

На фоне сорбитообразного перлита хорошо видны включения первичного цементита и ледебурита в виде сетки. Микротвердость матрицы 4000-45000 МПа, ледебурита - 11000-12000 МПа, общее количество ледебурита доходит до 28 %. Макротвердость вутца после отжига равна 32—36 HRC, после закалки и низкого отпуска - 61-63 HRC.

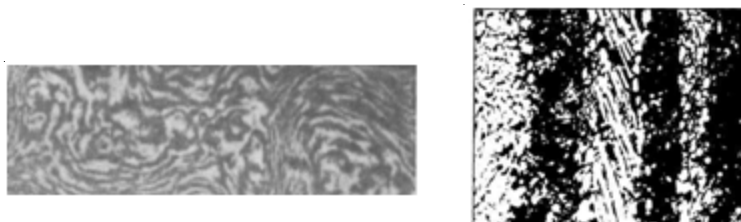
При определенных режимахковки достигалась хорошая пластическая деформация полученного вутца, что позволило переделать слитки в заготовки толщиной 1—5 мм. На рис. 8 а показана микроструктура полученного булата (вутца) послековки, закалки и отпуска. Закалку проводили от температуры 820°С через воду в масло, отпуск от -150° С. Включения ледебурита (первичный цементит) вытянулись в строчки и раздробились. Вместо перлитной составляющей в микроструктуре появилась мартенсито-карбидная смесь. Аналогичная микроструктура лучших образцов волокнистого булата приведена в литературе. При этом указано, что высокий уровень свойств получается тогда, когда волокна, обогащенные мелкими частицами цементита, выстраиваются в параллельные слои.

На рис.7 представлена макроструктура ножа, выполненного из такого вутца, и сетчатый узор на его поверхности.



**Рис. 7. Нож из волокнистого вутца (а) и сетчатый узор на его поверхности (б),  $\times 2$  (изготовитель Ю. Г. Гуревич, 2000 г.)**

В дальнейшем был разработан способ изготовления слоистого вутца. Пластина из такого булата, состоящая из 40—60 слоев высокоуглеродистой стали и белого чугуна представлена на рис. 8. Микроструктура слоистого вутца после закалки и отпуска представляет собой чередование слоев мартенсита и ледебурита.



а

б

**Рис.8. Пластина из слоистого вутца,  $\times 4$  (а) и Микроструктура слоистого вутца после закалки и отпуска  $\times 800$  (б) (изготовитель Ю. Г. Гуревич, 2001 г.)**

Обобщая вышеизложенное, можно с уверенностью сказать, что булат является первым в мире композиционным материалом на основе железа и углерода, обладающий неравновесной структурой с ярко выраженной макро- и микронеоднородностью по слоям или волокнам из-за разного содержания углерода. В процессековки слои или волокна могут перемещаться, образуя характерный рисунок, т. е. булат - узорчатая сталь.

После специальных методовковки, термомеханической и термической обработок и отделки булат приобретает замечательные свойства: высокую твердость, прочность, вязкость и упругость. Чередование слоев или волокон с разной структурой и свойствами на лезвии булатного изделия превращает его в микропилу и обеспечивает самозатачиваемость.

Совершенно ясно, что булат (дамаск) имел несколько разновидностей, отличавшихся одна от другой способом производства, структурой и свойствами. Слои в слоистых материалах так же, как волокна и матрицы в волокнистых, в зависимости от технологии получения имели феррито-перлитную, феррито-перлито-карбидную или перлитокарбидную структуру. Однако воспетыми в легендах свойствами из всех видов булата, по-видимому, обладал только индийский вутц, представлявший собой слоистый или волокнистый булат с перлито-ледебуритной неоднородностью.

## Глава 9. ХАРАЛУЖНЫЕ МЕЧИ

Холодное оружие до конца XIV века было основным вооружением русского войска. О высоком качестве булатных клинков на Руси знали с незапамятных времен. Русский былинный эпос часто воспевал харалужные мечи. Харалужная - огненная – так на Руси до середины XV века называли булатную сталь. «...Храбрая сердца в жестоцем харалузе (огне - авт.) скована, а в буести (потоке ветра - авт.) закалена», - говорится в «Слове о полку Игореве». Известный русский путешественник Афонасий Никитин, посетивший Персию, Индию и другие страны Востока в 1466—1472 годах, в своей книге «Хождение за три моря» употребляет уже только слово «булат» при описании военных доспехов, сделанных из восточной стали.

Отечественные археологи установили, что в V-VIII веках древние русские кузнецы умели делать железные ножи со стальными лезвиями. В IX-X веках в России достигла высокого уровня техника производства сварочного булата. В трактате багдадского философа Аль-Кинди «О различных видах мечей и железе хороших клинков и о местностях, по которым они называются», написанном в первой половине IX века, указывается, что франкские и слиманские мечи изготавливаются из дамасской стали. Современник Аль-Кинди арабский ученый Ибн-Руста называет народ, владевший слиманскими мечами, «русами».

Аль-Бируни сообщает: «Русы выделывали свои мечи из шабуркан (твердой стали - авт.), а долы посредине их из нармохана (мягкой стали - авт.), чтобы придать им прочность при ударе, предотвратить их хрупкость». Аль-Бируни сообщает также, что на Руси для изготовления долов применяли плетение из длинных проволок, приготовленных из разных сортов железа, твердого и мягкого.

Современный исследователь истории производства холодного оружия в России Б.А. Колчин указывает, что все известные нам древнерусские мечи (их найдено более 75) имеют конструкцию клинка, подобную описанной Аль-Бируни. На основании обнаруженных структурных схем металла древнерусских мечей была реконструирована технология их изготовления. Основа клинка делалась из железа или сваривалась из трех полос стали и железа. Когда ее сваривали только из стали, то брали малоуглеродистый

металл. Довольно широко применялась и узорчатая сварка. В этом случае основа клинка изготавливалась из средней железной и двух крайних стальных специально сваренных полос. Последние состояли из нескольких прутьев (слоев) с разным содержанием углерода, много раз перекрученных и раскованных в полосу. К предварительно сваренному и подготовленному бруску основы клинка в торец наваривали стальные полосы — будущие лезвия. После сварки клинок выковывали таким образом, чтобы стальные полосы вышли на лезвия. Отковав клинок заданного размера, вытягивали черенок рукоятки, после чего выстругивали доли (прорезы). Затем клинок полировали и травили. Многие русские клинки, подобно древнеримскому булату, имели рисунок в елочку.

Необычный дамаск найден в прибалтийском бассейне. На лезвие средневековых мечей выводили не твердую стальную, а мягкую полоску железа и только после нее делали твердое острие. Долго металлурги не могли понять, зачем это делалось. Объяснение такой конструкции средневековых мечей дал профессор из Владимирского политехнического института Г.П. Иванов.

Однажды адмирал С.О. Макаров присутствовал на полигоне при испытании броневых плит, цементованных и закаленных по методу Гарвея. Плиты эти на поверхности имели большое содержание углерода, и после закалки поверхность плиты приобретала высокую твердость. Однако по мере углубления содержание углерода уменьшалось, и материал становился все мягче и мягче.

При испытаниях по недосмотру одну из броневых плит установили к оружию обратной, мягкой стороной. Началась стрельба, и снаряды без труда пробивали эту плиту, считавшуюся неуязвимой. Случай этот произошел на глазах у многих специалистов, но правильный вывод сделал только адмирал Макаров.

«Если закаленную поверхность плиты легко пробить с обратной стороны, - подумал адмирал, - то нельзя ли эту самую «изнанку» насадить на головную часть снаряда?». «Макаровские» мягкие колпачки на броневых снарядах насквозь прошивали гарвеевскую броню. Так не для того ли, чтобы пробивать стальные латы противника, древние кузнецы нашивали мягкую полоску стали на закаленное очень твердое лезвие средневекового меча?

В работах исследователей В.В.Арендта и С.А. Зыбина есть сведения о мечах из дамасской стали, найденных на территории древнерусских селений Боре, Новоселках, Михайловском и дру-



гих. Меч, найденный в Михайловском, хранится в Государственном историческом музее в Москве. Полоса дамасской стали наварена на нем поверх дола и состоит из трех прутиков — слоев. Средний из них имеет крупный узор, напоминающий узор литого булата.

Не удивительно, что русские мечи с «редкостными» узорами пользовались большим спросом на внешних рынках: в Византии, Средней Азии и других странах. Арабский писатель Ибн-Хордадбех в середине IX века писал: «Что же касается купцов русских - они же суть племя из славян, - то они вывозят меха выдры, меха лисиц и мечи из дальнейших концов Славонии к Румейскому (Черному-авт.) морю». Сохранилась переписка между Иваном II и крымским ханом Мен-гли-Гиреем. Хан, который имел дамасское и багдадское оружие, выпрашивал русские доспехи: «Сего году ординских татар кони: потоптали есмя, мелкой доспех истеряли есмя. У тебя, у брата своего, мелкого доспеху про-сити есми».

Русское оружие славилось не только качеством стали, но и ее термообработкой. Закаленную сталь на Руси называли «трыпennyй оцел» («стойкая сталь»). Наваренные «оцелом» топоры находили в курганах, относящихся к XI веку. «Каленные» стрелы и сабли часто упоминаются в былинах. Известна древняя поговорка: «Пещь искушает оцел во калении». Рогатина Тверского князя Бориса Александровича имела рожну из закаленного булата.

В России умели делать дамаск (сварочный булат) вплоть до конца XIX века. В Государственной оружейной палате в Москве можно увидеть саблю царя Михаила Федоровича, изготовленную мастером Нилом Просвитом в 1618 году. Полоса у этой сабли булатная с прорезами (долами), украшена насечкой с надписью о времени изготовления. Сохранились сведения, что, кроме Нила Просвита, клинки из дамасска делали московские мастера Дмитрий Коновалов, Богдан Ипатьев и другие. Эти сведения в настоящее время пополняются в связи с тем, что в последние годы более успешно идет расшифровка надписей на проржавевшем древнем оружии.

Рижский историк-металловед А.К. Анейн сравнительно недавно приготовил очень эффективный реактив для расчистки проржавевших лезвий древних мечей. На таких лезвиях, обработанных бальзамом «Антенна», выявляют очень тонкие надписи, которые обычно располагались в верхней трети клинка. Они, как пра-

вило, инкрустированы в горячем состоянии обычной или перекрученной железной либо стальной проволокой. Так, например, в Киевском историческом музее хранится меч с красивой рукояткой с рисунком в виде перевитых друг с другом чудовищ. Меч находился в музее более 50 лет и его безоговорочно считали нерусским изделием. К изумлению историков, после обработки бальзамом «Антенна» на мече проявилась русская надпись «Коваль Людоша». Как было установлено, надпись сделана русскими прописными буквами, характерными для первой половины XI века. По сей день специалисты ищут и опознают образцы русских клинков от Сибири до Франции.

## Глава 10. **ТЕХНИЧЕСКИЙ ПЕРЕВОРОТ В МЕТАЛЛУРГИИ В КОНЦЕ XVIII - НАЧАЛЕ XIX ВЕКА**

В середине XVII века в Англии совершилась революция, которая устранила препятствия для роста капиталистических отношений и открыла путь бурному развитию производительных сил. Это привело к промышленному перевороту, который вскоре охватил и другие европейские страны. В это время быстро развивается наука. В Лондоне в 1649 году основывается Королевское общество, играющее до сих пор роль английской академии наук. В 1666 году открывается Парижская академия наук, в 1700 - Берлинская, в 1725 - Петербургская.

Одной из важных предпосылок промышленного переворота явилось открытие нового мощного источника механической энергии - паровой машины Джеймса Уатта. Появление парового двигателя имело следствием огромный рост промышленного производства и увеличение числа машин. Это вызвало повышенную потребность в металле и послужило толчком к развитию металлургии.

В те времена прогрессу в металлургии препятствовали в основном два обстоятельства: не было научной теории окисления и восстановления металлов и не было заменителя древесного угля, который применялся в доменном и кричном производстве. Древесный уголь был дорог, а запасы древесины ограничены, и это сдерживало увеличение объема производства железа и стали. В то же время запасы каменного угля огромны, и при горении он дает даже больше тепла, чем древесный. Однако при первых попытках применения каменного угля металлурги встретились с непреодолимой трудностью - высокой температурой его воспламенения.

Английский экономист Уильям Вуд писал: «Железо после шерсти – важнейшая индустриальная основа Англии. Англия потребляла ежегодно около 30 тысяч тонн железа, из которого, вследствие нехватки в древесном угле, около 20 тысяч тонн мы должны были покупать у наших соседей...» Еще в 1558 году в Англии королева Елизавета издает указ о запрещении использования в стране леса для производства угля. Было время, когда даже в России местные и столичные власти всячески ограничивали пост-

ройку любых печей, потребляющих древесное топливо, во избежание истребления лесов.

Известно, что техническая потребность является движущей силой науки. Революция в конце XVIII века целиком и полностью связана с потребностями металлургии. В начале XVIII века в химии господствовала теория горения немецкого химика Г.Э. Штала (1659-1734), согласно которой все вещества, в том числе и металлы, содержат «огненную материю» (флогистон). Горение (окисление вещества) связывалось выделением флогистона. Горит – уходит, значит, флогистон!

Интересно, что несоответствие теории флогистона металлургической практике не осталось незамеченным еще в XVII веке. Так, известный французский физик Жан Рэй, наблюдая металлургические процессы на железоделательной фабрике, сделал вывод о несостоятельности роли флогистона, поскольку во всех случаях он фиксировал увеличение веса металла при прокаливании. В своем трактате о «смешивании» металла с воздухом Рэй указывал, что «воздух как бы прилипает к металлу и делает окалину плотнее». Но во времена Рэя развитию металлургии теория флогистона еще не мешала. Поэтому труды Рэя были забыты, и о них вспомнили лишь через много лет.

В 1777 году во Франции строится первый завод для переливания старых чугунных пушек. Наблюдая процесс расплавления чугуна, французский металлург К. Вендель нашел, что в результате взаимодействия чугуна с ржавчиной (окалиной) на его поверхности появляется ковкое железо. Чугун превращается в очень хорошее железо «под действием тепла и собственного флогистона»! Это было непостижимо. Здесь уже история явно стучалась в двери невозмутимого Антуана Лавуазье (1743-1794), который в 1780 году наконец-то решается громогласно объявить о своем открытии: горение и окисление суть соединения металлов с «чистым воздухом» (кислородом), открытым Д. Присли (1733-1804) и К. Шееле (1742-1786) в 1774 году.

Блестящим экспериментом - пропусканьем водяного пара через ствол ружья, наполненный железными опилками, Лавуазье показывает, что вода состоит из горючего воздуха (водорода) и чистого воздуха (кислорода). Следовательно, железо ржавеет потому, что оно соединяется с кислородом. Теперь металлурги знают, что получение хорошей стали зависит от соотношения углерода и кис-

лорода в процессе восстановления руды.

Необходимо отметить, что Михаил Васильевич Ломоносов (1711-1765) так же, как и Лавуазье, высказывал свои взгляды об окислении металлов: «...нет никакого сомнения, что частички воздуха, текущего постоянно над обжигаемым телом, с ним соединяются и увеличивают его вес».

В 1788 году во Франции выходит «Мемуар» К. Бертолле, А. Вандермонда и Г. Монжа, в котором анализируются достижения в области производства стали. Так заканчивается первый этап технического переворота в металлургии в конце в XVIII века.

## Глава 11. ЗАВЕРШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВОРОТА В МЕТАЛЛУРГИИ В НАЧАЛЕ XIX ВЕКА

В 1619 году англичанин Дод Додлей получил королевский патент на способ плавки железной руды и производства из нее чугунного литья или брусков путем применения каменного угля в печах с «раздевательными» мехами. Свое изобретение Додлей сохранял в тайне всю свою долгую жизнь.

Прошло около ста лет, прежде чем другой английский металлург Абрахам Дерби-старший (1677-1712) взялся за решение этой трудной задачи. В 1713 году он нашел способ очистки каменного угля от вредных примесей: он стал обжигать его в кучах, примерно таких же, какие угольщики использовали для приготовления древесного угля. Но для воспламенения каменного угля понадобилось сильное воздушное дутье. Такой техникой Дерби-старший не располагал, поэтому он применил каменный уголь в доменной плавке лишь частично.

В 1735 году его сын Абрахам Дерби-средний (1711-1763) использовал для доменного дутья паровую машину и получил первый чугун, сделанный на каменном угле. Качество этого чугуна было значительно более высоким. Паровые воздуходувки давали небывалый жар, полыхающий в домне. Вагонетки едва успевали подавать руду и уголь на колошник доменной печи. И Дерби решает заменить деревянные рельсы, по которым катились вагонетки, чугунными. Эффект даже для него оказался неожиданным: по чугунным рельсам лошадь везла в 7 раз больше груза, чем по деревянным! Так металлурги подарили миру «чугунку» - первую железную дорогу.

Применение каменного угля и первых воздуходувок резко увеличило производительность доменных печей. В 1779 году Абрахам Дерби-младший (1750-1791) строит на реке Северн первый в мире мост из литых чугунных деталей. С тех пор чугунные мосты прочно вошли в нашу жизнь.

Все же изобретение Дерби распространяется медленно. Обоженный каменный уголь содержал много серы, и использовать его в кричном способе производства железа из чугуна было нельзя: металлурги знали, что «сера своим флогистоном может сжечь железо», то есть сделать его хрупким. В 1771 году М. Гитон (1737-

1816) получает из каменного угля кокс со сравнительно низким содержанием серы и выплавляет на нем чугун с достаточно высокими свойствами. В 1784 году Генри Корт (1740-1800) показывает, что для получения из чугуна чистого в отношении примесей серы железа надо организовать процесс так, чтобы чугун не соприкасался с коксом во время плавки.

После долгих поисков он разрабатывает процесс пудлингования. 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 накатывали на ломик и вытаскивали из печи. Так и закончился значительный переворот в металлургии в конце XVII - начале XIX веков.

## Глава 12. В ИНДИЮ С ЖЕЛЕЗОМ

В средние века была широко известна поговорка «В Индию с железом», которая была аналогична русской поговорке «В Тулу со своим самоваром». Но русские все-таки в Индию с железом пришли! А случилось это так.

В XVI–XVII веках Русь славилась качеством сварочного железа. Обычным делом была продажа русского уклада (стали) в «Немцах» (так на Руси называли все западные страны). Западно-европейский деятель Яков Рейтенфельс, побывав в Московии в 1670 году, писал, что страна москвитов - «живой источник хлеба и 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 «домашней» варки железа, которая проводилась в горшках в обыкновенной печи.

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

Наряду с индивидуальным существовало и специализированное крупное производство. Известна домница XIII века, найденная близ города Бердичева. Она совершеннее новгородских домниц XVIII века: шлак у нее непрерывно стекал по каналам в специальные ямы. Недалеко от Нурека в Гочевском городище был обнаружен металлургический «завод», относящийся к XV веку. Пространство площадью 10000 м<sup>2</sup> было завалено остатками домниц, шлаком и крицами. Таких центров производства железа на Руси было много. Недаром в знаменитом литературном памятнике XII века «Слове Даниила Заточника» сказано: «Лучше бы ми железо варити, нежели со злою женою быти». Далее, говоря о трудностях, связанных с производством железа из руды, Д. Заточник поясняет: «Не огонь творит разжение железу, но надмение



мешное». «Надмение мешное» - надувные меха. Их раздували вручную, и это было тяжелым делом. Кстати, в значении «дуть» в древности употребляли еще слово «сопеть». Отсюда сопло – трубка, через которую воздух подавался в печь.

В начале XVIII века русская металлургия начинает быстро развиваться. Петру I необходимо оружие, а для его производства нужны прежде всего железо и чугун. Он организует, опираясь на отечественный и зарубежный опыт, небывалое для тех дней заводское строительство. Благодаря этому 1700 по 1800 годы только на одном Урале было построено 123 железодельных завода. Русское железо помогло стране построить огромное количество предприятий. К концу жизни Петра их насчитывалось 233, к концу XVIII века - свыше 3100, не считая горных заводов. Производство чугуна в России за это время увеличилось со 150 тысяч пудов (1700 год) до 9,91 миллиона пудов (1800 год).

Победа русской металлургии над шведской была не менее значительной, чем победа русской армии во главе с Петром I над шведами в 1721 году. Если в XVII веке основным поставщиком железа в Европе была Швеция, то в XVIII веке им становится Россия. Так, в 1716 году в Англию была вывезена первая партия русского железа в количестве 2200 пудов, а в 1732 году вывоз железа уже превышал 200 тысяч пудов.

В 1722 году 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 со следующими знаками:

Первая проба: вкопать круглые столбы в диаметре по шести вершков в землю так далеко, чтобы оное неподвижно было, и выдолбить в них дыры величиною против полос, и в тое дыру то железо просунуть, и обвести кругом того столба трижды, потом назад его от столба отвести, и ежели не переломиться, и знаку переломного не будет, сверх заводского клейма заклеить № 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 им 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. Выполнение указов царь спрашивал строго. Указом от «11 января 1723 года» он повелевал: «...Ружейной канцелярии из Петербурга переехать в Тулу и денно и нощно блюсти исправность ружей. Пусть дьяки и подъячии смотрят, как алдерман клейма ставит. Будь сомнение возьмет, самим проверять и смотром и стрельбою. А два ружья каждый месяц стрелять, пока не испортятся.

Буде заминка в войске приключится, особо при сражении, по недогляду дьяков и подъячих... старшего дьяка отдать в писари, подъячего лишить воскресной чарки сроком на год».

Не удивительно, что в 1734 году подписывается англо-русский торговый договор, согласно которому из России в Англию вывозится «более трех четвертей всего экспортировавшегося за границу полотна и железа». Теперь на английские корабли в Крондштадте и Архангельске погружают ежегодно 28 тыс. т русского железа. А в 1788 году из России было вывезено 38,4 тыс. т железа в Англию и около 5,8 тыс. т в другие страны. Таким образом, в XVIII веке Россия является самым крупным экспортером железа в Западную Европу.

Особенно славилось за границей уральское железо. Очищенную сталь Пышминской и Златоустовской фабрик знал весь мир. Лучшие сорта железа, полученные из особо чистых по сере и фосфору руд, были известны под маркой «Русский соболь». На них стояло фабричное клеймо, изображающее бегущего зверька. Благодаря отсутствию вредных примесей это железо легко ковалось, и из него получали цементованную сталь высокого качества.

Славилось также кровельное железо, изготавливаемое на Невьянских, Белорецких, Каменских и других уральских заводах, а также на заводах Подмосковья. Серебристые листы кровельного железа «Серебряный якорь», выпускаемые Белорецким заводом, покупались нарасхват. Интересно, что первая железная кровля в России - крыша церкви святой Софии - относится к 1465 году.

Во второй половине XVIII века Англия являлась монополистом в производстве цементованной стали благодаря тому, что ей удалось захватить право исключительной покупки наиболее при-

годного для этой цели русского и шведского железа. Недаром английская газета «Морнинг пост» в 1851 году писала: «Демидовское железо «Старый русский соболь»... играет важную роль в истории нашей народной промышленности; оно впервые введено в Великобритании для передела в сталь в начале XVIII века, когда сталелитейное производство едва начало развиваться. Демидовское железо способствовало к основанию знаменитых шеффилдских изделий».

Франция, не сумевшая закупить железо в России или Швеции, отстала в области производства стали почти на полвека. Только к концу XVIII века ей удалось решить вопрос получения цементованной стали на местных материалах.

В 1743 году на реке Урал основывается крепость – город Оренбург, и он становится центром торговли России с Индией. Теперь русские купцы часто посещают «страну чудес». Один из них, оренбуржец Гаабайдула Амиров странствовал по Индии 30 лет (1775-1805 гг.), видел во многих городах «российские произведения», которые «тамошние жители» с удовлетворением покупали. Это «кольца, браслеты, иголки, разные стальные и железные изделия и другие». Так русские пришли «в Индию с железом»!

## Глава 13. ТИГЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС В ЕВРОПЕ

В середине XVIII века в городе Шеффилде славился изделиями часовых дел мастер Бенджамин Гентсман. И знал этот часовщик, что для сердца часов - пружины - нужна очень чистая и однородная по составу сталь. Шведская цементованная сталь, получавшаяся науглероживанием сварочного железа, этим требованиям не удовлетворяла (теперь мы знаем, что углерод неравномерно распространялся в ее объеме). И Гентсман понял, что для равномерного распределения «цемента» (углерода) его необходимо растворить в жидком металле. Так часовщик подошел к тигельному процессу производства стали. Он переплавил в глиняном тигле цементованное железо, разлил жидкую сталь в чугунные формы, проковал и получил углеродистую сталь очень высокого качества. Тигельным способом удавалось получать сталь с содержанием углерода 1,0-2,0%.

В 1740 году Гентсман основал первую сталелитейную фабрику в Атерклифе близ Шеффилда. Это положило начало производству литой стали в Европе. Несмотря на высокие свойства инструмента, ножей, бритвенных лезвий, часовых пружин и других изделий, Гентсману не удалось продать шеффилдским фабрикантам свое изобретение. Он тщательно хранил секреты производства своей стали, но шеффилдский железозаводчик Самуэл Уокер все-таки сумел их раздобыть. Способы получения литого металла быстро распространяются в Англии, а потом и в Европе. Наибольшего развития тигельный процесс достиг в первой половине XIX века, после того, как немецкая фирма Круппа купила патент Гентсмана.

Пудлинговый процесс обеспечил резкое увеличение объема выплавляемой стали, но качество ее оставалось на прежнем уровне. И только тигельный процесс привел к получению стали такого высокого качества, которого промышленность раньше не знала. Он создал условия для разработки потерянных способов выплавки булата и позволил открыть легированные марки стали.

Верно иногда говорят: новое - это забытое старое. Историки и археологи уже в наше время доказали, что тигельный процесс люди знали очень давно. Этот древнейший способ получения металлов в жидком состоянии был известен, по-видимому, еще с бронзового

века, когда медь и ее сплавы выплавляли в горшках на очагах или простейших горнах. Барельефы в Саккаре свидетельствуют, что у египтян за много сотен лет до нашей эры были плавильные печи. Тигельная плавка железа была известна Аристотелю, который писал, что она использовалась в странах Древнего Востока (Персия, Индия, Сирия) при производстве стали для холодного оружия, высококачественных ножей и инструмента. В средние века тигельная плавка была окончательно забыта.

В Европе XVIII века она была открыта еще раз. Но в чугунные формы сталь залили впервые. Гентсман получил не только литейную сталь, но и первый стальной слиток.

## Глава 14. ЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ

Первыми выплавлять чугун и получать из него сталь научились китайцы. В 221 г. до н. э. они объединились в империю Цинь и вскоре начали производить сталь. Одним из способов был процесс обезуглероживания путем вдувания в чугун кислорода. Его называли также методом «стократной очистки», так как его повторяли многократно, и сталь каждый раз становилась более пластичной.

Китайцы называли чугун «сырым железом», сталь - «великим железом», а ковкую сталь - «созревшим железом». Они понимали, что при «созревании» железо теряет один из компонентов, и описывали этот процесс как «потерю животворных соков». Китайцы, не зная химии, не могли определить, что этим компонентом является углерод.

Подобный способ получения стали был положен в основу бессемеровского процесса, разработанного на Западе в 1856 г. Генри Бессемером. Известно также, что в 1852 г. его опередил Уильям Келли из штата Кентукки. В 1845 г. У. Келли пригласил в Кентукки четырех китайских специалистов по выплавке стали и перенял у них данную технологию производства, применявшуюся в Китае на протяжении более двух тысячелетий, внося некоторые изменения.

Приблизительно в V веке н. э. в Китае был разработан еще один способ получения стали - процесс «сплавления» металлов, в котором чугун и ковкая сталь плавилась для получения «новой стали». В 1863 г. тот же процесс был разработан Мартеном и Сименсом – плавка стали на поду мартеновской печи. В Китае его применяли уже 1400 лет. Но пользу добавки легирующих элементов в сталь не знали до появления тигельного процесса в Европе.

В 1801 г. Д. Мюшет, бухгалтер завода в Клайдо, Шотландия, занимавшийся пробирным искусством, открыл полезное влияние марганца на тигельную сталь и начал добавлять в шихту оксиды марганца. Марганец в жидкой стали связывает серу и кислород и переводит их в шлак.

Спустя несколько лет Д. Мюшет вместо оксидов марганца стал применять зеркальный чугун с высоким содержанием марганца. А в 1893 г. на заводе «Феникс» в Глазго было организовано производство ферромарганца с содержанием 25-60% марганца.

Примерно в то же время Гатфильдом была выплавлена высокомарганцовистая сталь с содержанием 11-14% марганца и 1,0х1,3% углерода. После закалки в воде сталь обладала высокой вязкостью и прочностью, а также отличалась тем, что при холодной пластической деформации сильно упрочнялась и имела высокую износостойкость.

В 1820 г. Фарадею и ножевому мастеру Стодарду удалось выплавить «синтетическое метеоритное железо» с повышенной коррозионной стойкостью. Это был первый искусственно приготовленный сплав железа и никеля. Но он так же, как и метеоритное железо, не нашел применения, так как не поддавался ковке. Лишь в конце XIX века металлургам удалось получить никелевую сталь. В это же время стало возможным легировать сталь хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием и другими элементами.

В Златоустовском краеведческом музее хранится записная книжка потомственного металлурга П.Н. Швецова, предки которого плавил булатную сталь вместе с П.П. Аносовым. Книжка содержит состав шихты и результаты опытных плавок тигельной стали. Из записей следует, что П.Н. Швецов выплавлял не только булат, но и стали, легированные кремнием, молибденом, ванадием и титаном, также изучал их свойства. Еще в 1884 г. он изготавливал сплав железа с хромом и полувысокохромистую нержавеющую сталь. Также он выплавлял быстрорежущую инструментальную сталь, которую он называл «самокалкой».

В 1903 г. завод заключил договор с австрийской фирмой «Бр. Беллер» на поставку инструментальной стали марки «Рапид». Особые пункты договора сохраняли исключительное право фирмы на способ изготовления этой стали и на ее продажу в России и за границей в течение 10 лет.

За короткий срок в Златоусте было освоено производство стали «рапид». При этом выяснилось, что «самокалка» Швецова не уступает ей по своим свойствам. Договор с фирмой был досрочно расторгнут, и на Златоустовском заводе начали плавить швецовскую инструментальную сталь, которая долгое время была известна под названием «рапид-самокалка».

В 1920-1925 гг. на Златоустовском заводе мастер В. Н. Швецов выплавлял булат следующего состава, %: 1,44-1,55 С; 0,7-0,8 Cr; 1,52-1,64 Mn; 0,69-0,86 W. Свойства стали не уступали булату.

В 1885 г. на Путиловском заводе выплавляли сталь, в которой

содержалось 0,52 % С и 3,72 % Мо. В 1900 г. на Всемирной промышленной выставке в Париже была представлена сталь, содержащая молибден, резцы из которой закалялись в процессе работы. На этой же выставке демонстрировались образцы быстрорежущей вольфрамовой стали.

Кремний был получен выдающимся шведским химиком И.Я. Берцелиусом в 1825 г. В конце XIX - начале XX века кремний из-за высокого сродства с кислородом широко использовался в качестве раскислителя стали.

Французские металлурги в конце XIX - начале XX века начали легировать сталь ванадием, но держали это в секрете. Секрет раскрыл Генри Форд. В 1905 г. будущий автомобильный магнат Г. Форд присутствовал на крупных автомобильных гонках в Англии. Фирма «Форд Мотор Компани» (США) производила гоночные автомобили. Первой шла машина французской фирмы «Рено» до тех пор, пока не врезалась в дерево. Двигатель развалился, и к ногам Г. Форда упала деталь. Он обратил внимание на ее небольшие размеры и понял, в чем заключался успех французов. Сталь, из которой был сделан двигатель автомобиля «Рено», была более прочной, а следовательно, детали из нее имели меньшую массу, что делало автомобиль более легким. Химический анализ показал, что в стали, из которой была сделана деталь, содержался ванадий. Через некоторое время Г. Форд добился превосходства американских гоночных автомобилей над французскими.

Ванадий придает стали прочность, легкость, устойчивость к воздействию высоких температур, по этой причине в 1914 г. французам первыми удалось поставить на самолеты пушки.



## Глава 15. ПАВЕЛ ПЕТРОВИЧ АНОСОВ

Секрет получения литой стали в России первой четверти XIX века являлся достоянием отдельных мастеров. Серьезных успехов в этом деле добился С.И. Бадаев (Камско-Воткинский завод). Он сконструировал специальную печь, имеющую два отделения - цементационное и тигельное. Кричное железо подвергалось цементации и после этого расплавлялось в тиглях. Затем производилась вторичная цементация полученной стали при помощи карбюризатора, состоящего из различных сортов угля, перемешанного с белой глиной, мелом и минеральными добавками. «Энциклопедический лексикон» Плюшара за 1835 год об инструментальной бадаевской стали говорил, что она лучше знаменитой «гунцмановской» (английской).

Литую цементованную сталь высокого качества получал также Нижегородский заводчик Полюхов. По заключению монетного двора сталь Полюхова «...оказалась на дело инструмента годная и прочную сыпь имеет мелкую и ровную».

Оригинальный способ производства литой стали разработал управитель Велетминского завода Пономарев. Тигельные процессы производства стали появлялись на Верхне-Исетском, Невьянском, Каслинском и других заводах. Этому способствовало распространение отражательных (пламенных) печей, в которые помещали тигли со сплавляемыми материалами. Путем сжигания дров, а потом кокса в струе подогретого воздуха в таких печах удавалось получать температуру до 1500°С.

Однако, как и все новое, литая сталь часто встречала недоверие со стороны многих металлургов. Объяснялось это тем, что способы ее выплавки и разливки были недостаточно совершенны, и иногда металл получался либо низкого качества, либо очень высокой стоимости. А обходилась его сталь в 10—15 раз дороже цементованной. По этим и другим причинам государственный департамент часто отказывался выдавать привилегии на способы производства тигельного металла.

Проанализировав имеющийся опыт различных способов выплавки стали для оружия и инструмента, великий русский металлург Павел Петрович Аносов пришел к выводу, что только литая сталь может обладать необходимыми свойствами. «Литая сталь, - писал он, - имеет преимущество перед выварною и цементною из

тех же первых материалов, полученных как по равномерному, так и более тесному или химическому соединению частей углерода с железом». Так, П. П. Аносов, исходя из чисто научных соображений, обосновал целесообразность тигельного производства. Предварительные опыты по получению литой стали окончательно убеждают его: только организация тигельного производства коренным образом улучшит качество стального оружия и инструмента на Златоустовском заводе.

Аносов знал, что в Англии и в других странах Западной Европы литую сталь получали в небольших количествах путем переплавки цементованного (науглероженного) железа. Экспериментально изучив получение стали таким методом, Аносов показывает его большой недостаток. Заключался он в том, что при этом методе не удавалось управлять процессом науглероживания: «Положив угля более, опасаться должно, что она (сталь) выйдет слишком твердую, а положив недостаточно, она будет трудно плавиться, особенно потому, что часть углерода улетучивается», - установил он.

После серии опытов он убеждается, что процесс цементации (науглероживания) железа хорошо протекает в газовой среде печной атмосферы. Когда он наполнил тигель железными обечками без примеси угольного порошка, не покрывая его ни флюсом, ни крышкой, то после расплавления шихты получил чугун. Когда же он накрыл тигель крышкой прежде, чем все железо расплавилось, то получил «удобно ковкий металл - литую сталь».

«Таким образом, - заключает Аносов, - для получения литой стали плавильный горшок с крышкой есть просто отпираемый ящик. Стоит только знать, когда его открыть и когда закрыть. Цементование железа, находящегося в горшке, совершается точно так же, как в ящике с угольным порошком, только тем скорее, чем возвышеннее температура». На основании этого открытия автор разрабатывает совершенно новый способ получения литой стали, который заключается «в сплавлении негодных к употреблению железных и стальных обечек в глиняных горшках, при помощи возвышенной температуры воздушных печей».

Таким образом, Аносов открыл газовую цементацию и использовал ее для получения литой стали методом «переплава отходов». Разработанный метод газовой цементации был опубликован им в 1837 году, в то время как в Европе первая печатная работа, посвященная этому методу, появилась лишь спустя несколько де-

сятков лет. Но этого мало. Теперь все знают, что процессы науглероживания и обезуглероживания играют первостепенную роль при производстве стали. П. П. Аносов впервые связывает эти процессы с температурой и привлекает их для предвидения качества получаемой литой стали: получится ли она «мягкая», «средняя» или «твердая». Это и есть начало научного подхода к процессу получения литой стали.

В 1833 году Аносов провел серию опытов, которыми показал, что вполне возможно получать доброкачественную сталь путем сплавления чугуна и железа с прибавлением флюса и окалины. Это значит, что передел отходов и чугуна в сталь, широко известный теперь под названием скрап-процесса, был открыт Аносовым задолго до мартеновского метода. Совершенно естественно, что когда в середине XIX века Эмиль и Пьер Мартены обратились к русскому правительству с ходатайством о выдаче пятилетней привилегии на производство литой стали в России, им было отказано. Отказ мотивировался тем, что «литая сталь путем сплавления чугуна и железа производилась у нас на Урале в тиглях» (работы Аносова и Обухова).

Дальнейшее развитие науки позволило более обстоятельно проанализировать особенности предложенной Аносовым технологии тигельной плавки стали. Незначительное развитие при тигельном процессе окислительных реакций и отсутствие твердых восстановителей, таких, как марганец и алюминий, резко снижает степень загрязнения стали неметаллическими включениями, представляющими собой оксиды этих элементов. Оксиды в тигельной стали «самовосстанавливались» только кремнием, который был в огнеупорном материале тигля. Такой процесс «самораскисления» обеспечивал чистоту стали по неметаллическим включениям, чем и объясняется ее высокое качество.

Аносов тщательно разрабатывает технологию производства тигельной стали, придавая большое значение ее разливке. Он создает соразмерные с величиной тигля специальные чугунные формы (изложницы) и применяет их предварительный прогрев и смазку салом: «Каждая форма по граням составлена из двух бокованок, которые скреплялись обручем с клином. Формы предварительно прогреваются так, чтобы в них расплавилось сало, которым она пред самую отливкою смазываются: отделяющиеся от горения сала газы предохраняют сталь от доступа воздуха».

Сталь рекомендовалось разливать медленно и так, чтобы струя не касалась боков формы. Эти рекомендации актуальны и сегодня.

Будучи внимательным наблюдателем, П.П. Аносов замечает, что по цвету струи стали, по форме отделяющихся от нее искр и поведению металла в изложнице можно безошибочно определять содержание углерода в стали. «...Мягкая сталь при застывании увеличивается в объеме или вспучивается; средняя остается в том же положении, как вылита, а крепкая уменьшается в объеме».

Благодаря тому, что П.П. Аносов исключил процесс предварительной цементации, а получил инструментальную сталь непосредственно переплавом шихты в тигле, ему удалось добиться значительной для того времени производительности и резко снизить стоимость литой стали.

Литая сталь, выплавленная по способу Аносова, имела высокие механические и технологические свойства, и это позволило Златоустовскому заводу отказаться от дорогостоящей английской стали, используемой для изготовления наиболее ответственных изделий. Если в 1830 году на заводе по этому способу было выплавлено 1660 пудов, то в 1836-м завод уже выплавлял 4600 пудов тигельной стали, в том числе впервые в истории артиллерии была отлита стальная 35-пудовая пушка. В этом же году П. П. Аносов получил привилегию на изобретение литой стали, а в 1837 году в «Горном журнале» была опубликована его работа «О приготовлении литой стали». Секрета производства литой тигельной инструментальной стали больше не существовало, но остался главный секрет, который мечтал раскрыть уральский металлург, - секрет получения булата.

Начиная с 1828 года П. П. Аносов проявляет большой интерес к булатной стали. Он знакомится с известными тогда работами Карстена (Германия), Фарадея (Англия), Ринмана (Швеция), Бертье (Франция) и других западноевропейских металлургов, пытающихся получить булатную сталь. Он ищет знакомства с обладателями булатных клинков, завязывает с ними переписку. В результате им тщательно изучены лучшие коллекции булатного оружия в Царскосельском арсенале, собрании великих князей Александра Николаевича и Михаила Павловича, коллекция князя П. Д. Салтыкова и другие.

П. П. Аносов тщательно исследует индийские вутцы, образцы дамаска (сварочного булата). Он заводит связи с киргизами, ко-

торые доставляют ему несколько ценных клинков. Вскоре он сам собирает небольшую коллекцию булата. Глубокое изучение образцов булатного оружия позволяет Аносову впервые научно установить различие между литым и сварочным булатом и связать величину и форму узора с качеством стали.

Следует подчеркнуть, что большинство западноевропейских металлургов вообще не догадывались о связи узора с качеством булата. Они относили узор к чисто внешним признакам, обеспечивающим красивый вид изделия. Более того, высокое качество литой стали они связывали только с ее однородностью. Так, например, Карстен, Фабр дю Фор и другие считали, что «лучшая и наиболее однородная сталь есть именно та, которая наименее способна принять узорчатую поверхность». И «какую бы цену ни приписывали булату по узору, она ничего не доказывает в пользу качества металла», - считали они. Аносов впервые убедительно показал, что в представлении восточных мастеров залогом качества стали была ее неоднородность. Такую сталь цементацией твердого железа получить нельзя. Значит, секрет производства булата следует искать только в способах приготовления литой стали. А не содержит ли булат каких-то особых соединений железа с углеродом?

«Поиски химиков не могли обнаружить в нем (булате) существенной разницы от стали, — размышляет Аносов, — но это могло зависеть не от недостатков в тщательности разложения, а от недостатка в самой науке». Это наталкивает его на мысль, что «от качества самого железа, в котором всегда остаются посторонние примеси в количестве более или менее значительном», зависит и качество стали.

Итак, вывод сделан: булат - сплав железа с углеродом, причем углерода должно быть много. Чем же он отличается от обычных сталей? Узорами, они свидетельствуют о неоднородности стали. Как же они получаются? Где скрывается причина появления узоров? Экспериментальный материал и научные сведения, которыми располагал теперь Аносов, безоговорочно подсказывали ему, что необходимо проверить прежде всего влияние чистоты исходных материалов и условий охлаждения (кристаллизации) слитков.

До сих пор сталь выплавлялась в тиглях, после чего разливалась в чугунные формы - изложницы. Здесь она сравнительно быстро охлаждалась и кристаллизовалась (твердела). А что если

готовую сталь охладить совсем медленно, оставить ее затвердевать в горячем тигле там, где она выплавлена? И вот в «Журнале опытов», который тщательно вел Аносов, появляется первый эксперимент по «кристаллованию стали». Плавка № 74 в форму не вылита, а охлаждена в тигле. После проковки слитка «на выполированном и вытравленном куске видны были местами в микроскоп узоры, подобные по расположению булатным». Необходимые условия для получения булата найдены - это медленное охлаждение тигля с готовой сталью. (Нами было показано, что П.П. Аносов правильно определил условия получения многих сортов булата. Что касается индийского вутца, то тут он ошибался...).

Все же Аносов приходит к выводу, что одним из необходимых условий получения булатов в Азии является «медленное охлаждение сплава». Поэтому во всех последующих опытах металл охлаждался именно так.

Итак, медленное охлаждение плавки - необходимое условие для получения булата. Необходимое, но недостаточное. Нужны очень чистые исходные материалы; железо, руда, графит. По первоначальному мнению Аносова, в древности булатную сталь могли получать только непосредственным восстановлением руды углеродом. Поэтому он изготавливает сталь из очень чистой магнитной железной руды и особой чистоты графита, найденного недалеко от города Миасса. Из полученной стали выкован нож, «оказавшийся весьма хорошим хоросаном». Повторяются плавки и повторяются результаты. Тайны больше не существует. Аносов начинает управлять процессом получения булата. Он понимает, что открыл новый процесс получения стали: «Смешивая железную руду с графитом, можно получить непосредственно из руд ковкий металл. Эти опыты заключают в себе открытие в металлургии железа».

Развитие современной металлургии начинает идти именно по этому пути; но в те времена такая технология тигельной плавки была чрезвычайно сложна. «Сколь ни заманчив этот способ, - рассуждал Аносов, - но... он убыточен, тем более что требует высокого качества руд и графита». И он приступает к поискам нового, более дешевого, надежного и удобного способа. Снова опыты, опыты, опыты...

Наконец найден лучший из всех ранее разработанных методов получения настоящих булатов - метод «сплавления железа непосредственно с графитом или соединений его прямо с углеро-

дом». В тигель загружалось около 5 кг железа, которое засыпалось смесью графита, железной окалины и флюса. В качестве флюса лучше всего себя показал доломит в количестве не более 40 г на 1 кг железа. После загрузки тигель закрывали крышкой, помещали в печь и пускали дутье для достижения «сильного жара». В течение трех с половиной часов металл расплавлялся и покрывался тонким слоем шлака. Часть графита всплывала в шлак, причем потери графита зависели от продолжительности выдержки расплава. При увеличении выдержки с трех с половиной до пяти с половиной часов потери графита увеличились от 10 до 40 г.

После окончания плавки тигель оставляли в печи до полного остывания. Затем отбивали крышку тигля, высыпали остатки графита, а шлак разбивали. Металл извлекался из тигля в форме «сплавка, имеющего вид хлебца», который остывал постепенно при медленном охлаждении. При получении хороших булатов узоры отчетливо были видны на поверхности «сплавка», они также отчетливо наблюдались на шлаке, покрывающем металл.

Расположение узоров и их размеры Аносов все же связывает не только с чистотой исходных материалов, но и со степенью совершенства соединения углерода с железом. «Грунт булатов и цвет самих узоров, - писал Аносов, - означает степень чистоты железа и углерода; чем они темнее и блестящее и чем узоры белее, тем чище металл... Опыты с различными графитами убедили меня, что в самих булатах углерод находится в различном состоянии и что в этом отношении прямой указатель есть отлив». Аносов впервые в истории металлургии предсказал, что углерод в стали может находиться в разном состоянии!

Итак, Аносов убежден, что свойства булата зависят от формы существования в нем углерода. Как это доказать экспериментально? Этот вопрос, по всей вероятности, не давал ему покоя. И он решается ввести в сталь алмаз, чтобы проследить, не повлияет ли эта особая форма «угля» на степень совершенства соединения его с железом. В «Журнале опытов» в 1837 году сделана запись: в шихту добавлен алмаз 1/4 кара. Определить влияние качество булата автору эксперимента не удалось...

В дальнейшем П. П. Аносов начинает получать булаты высокого качества в заводском масштабе. Отливаются булаты, выковываются клинки, характеристики их кратки, но внушительны: «Узоры мелкие, грунт темен - табан»; «узор средний - кара-табан»; «узоры

крупные - кара-хорасан» и так далее. Производство булата на Златоустовской оружейной фабрике становится на поток, он выпускается большими партиями. Нет ничего удивительного, что Павел Петрович Аносов в 1841 году, подготавливая к печати свое сочинение «О булатах», отказался от устаревших азиатских названий узорчатой стали (вутц, дамаск и другие) и ввел новое название - «русский булат». Русский булат при жизни П.П. Аносова приобрел широкую известность и стал таким же легендарным, как и восточный.

В 1839 году в помещении бывшей выставки в Санкт-Петербурге демонстрируются различного рода оружие и другие изделия из русского булата. Русский булат получает прекрасный отзыв на третьей Московской мануфактурной выставке в 1843 году. Образцы его попадают в известные коллекции Перовского, Чевкина, Ковалевского.

Русский булат проникает и в Западную Европу. Побывавший в Златоусте известный немецкий естествоиспытатель, географ и путешественник, ученый-энциклопедист Вильгельм Гумбольдт получил здесь в подарок прекрасный клинок и охотничий нож. Английский ученый Р. Мурчисон после посещения Златоустовского завода в 1841 году считал, что во всем мире нет оружейной фабрики, которая могла бы сравниться со Златоустовской в выделке оружия. «Изящно отделанные из булатной стали вещи, - писал он, - полученные нами от г. Аносова, вполне оправдывают основательность приписываемой ему похвалы». Изделия из русского булата возбудили в Англии всеобщее удивление.

Попадают за границу и другие изделия из русского булата. В 1851 году, в год смерти П.П. Аносова, на выставке в Лондоне экспонировались его булатные клинки. Экспонаты сопровождал помощник Павла Петровича, известный златоустовский мастер Николай Иванович Швецов. До нашего времени дошел рассказ Н.П. Швецова о том, как англичане, решив испытать крепость русского булата, рубили русским клинком по английскому. В результате на английском клинке образовалась изрядная зазубрина, а на аносовском - только пятнышко. Англичане гнули клинок из русского булата в дугу, и он выпрямлялся без какой-либо остаточной деформации.

Известно, что Аносовым изготовлено более двух десятков клинков и много ножей из русского булата с отличными узорами типа



хорасан и кара-табан. Судьба большинства из этих изделий неизвестна; хочется верить, что они не пропали, а находятся в частных коллекциях. В начале XX века в указателе отдела средних веков и эпохи Возрождения Государственного Эрмитажа было сказано, что образцы работ Аносова хранятся в русской комнате на левой стороне двери. В настоящее время там находится лишь сабля кара-табан, поднесенная Аносовым великому князю Михаилу Павловичу. Посетители могут видеть: узор русского булата действительно аналогичен узору хранящегося здесь же, в Эрмитаже, древнего булатного клинка, на котором выгравировано: «Амели Табан» («Лучший блестящий»).

В известной в США книге Ф. Т. Сиско «Современная металлургия» подробно характеризуется «дамасская сталь» и приводится фотоснимок кинжала и ножен, которые должны были свидетельствовать о высоком искусстве изготовления дамасского оружия из вывезенного на Ближний Восток вутца. Подпись под рисунком гласит: «Кинжал из дамасской стали» (рис.9).



***Рис.9. Кинжал «из дамасской стали». Фон – узоры лезвия клинка при увеличении в 8 раз. На поверхности клинка двуглавый орел и выгравировано слово «Златоуст»***

Рассматривая фотографию кинжала при небольшом увеличении, на поверхности «восточного клинка» можно увидеть двуглавого орла и выгравированные русские буквы. Легко прочитать слово из девяти букв: «Златоусть». Вот какой был русский булат, даже специалисты не могли его отличить от восточного! Да и как отличишь, когда лучшие английские зубила крошились под ударами русского булата!

Умели ли в Златоусте делать булат в конце XIX века? Факты свидетельствуют, что секрет производства русского булата к этому времени был потерян.

Целесообразнее внимательно проанализировать некоторые исторические факты.

## Глава 16. ПОСЛЕДНИЙ УМЕЛЕЦ ИЗ ДИНАСТИИ ШВЕЦОВЫХ

Известно, что незаменимым помощником при изготовлении булатных слитков П.П. Аносова был выдающийся стальных дел мастер Николай Иванович Швецов, Это он в 1851 году, в год смерти Павла Петровича, сопровождал на выставку в Лондоне его булатные клинки. До нашего времени дошел рассказ Н.И. Швецова о том, как англичане, решив испытать крепость златоустовского булата, рубили русским клинком по английскому. В результате на английском клинке образовалась изрядная зазубрина, а на аносовском – только пятнышко. Англичане гнули клинок из русского булата в дугу, и он выпрямлялся без какой-либо деформации.

Николай Иванович Швецов был родом из крепостных, потомственных «варовщиков» (сталеваров). Его дед Макар Швецов варил железо на якорной фабрике Боткинского завода. Отец Николая Ивановича был куплен екатеринбургским начальством и привезен в Златоуст. За проявленное усердие в работе Николай Иванович получил «вольную», которая освобождала его семью от «телесного наказания за провинны».

Н.И. Швецов грамоте обучен не был, но лучше его никто не мог «прочитать» родословную любой стали. Осмотрев кусок металла, он мог определить, как выплавлена сталь, как откована, равномерно ли нагрета под ковку, правильно ли закалена. По излому стали и размеру ее зерен он безошибочно предсказывал свойства.

После того, как П. П. Аносов в 1847 году стал томским гражданским губернатором, начальником Алтайских горных заводов и уехал из Златоуста, Н. И. Швецов продолжал плавить булат. Он был человеком скрытным и приемы изготовления узорчатой стали держал при себе. Четверо его сыновей работали на Златоустовском заводе, но секреты производства булата он доверил только старшему — Павлу.

Павел Николаевич Швецов с семи лет ходил с отцом на завод. После окончания горнозаводской школы он освоил профессию слесаря, токаря по сверлению ружейных стволов и машиниста воздухоудной машины. Лишь в 1880 году он стал сталелитейным мастером и проработал на этой должности почти 45 лет. Высокого роста, худой и седой, в очках и фартуке, он напоминал колдуна, когда смешивал различные порошки при составлении шихты для варки стали. Павел Николаевич был человеком строгого и молча-

ливого нрава, он никогда никому не объяснял, что и зачем делает. Он плавил сталь, сам изготовлял из нее клинки и различный инструмент, сам определял их структуру и качество.

Внук родоначальника потомственной династии сталеплавателей Николая Ивановича Швецова Василий был сыном Николая Николаевича, родного брата Павла Николаевича, которому отец передал все свои секреты производства тигельной стали. Николай Николаевич умер рано, и его детей воспитывал брат. Павел Николаевич содействовал поступлению Василия в Уральское горное училище в г. Екатеринбурге. Он надеялся сделать из него своего преемника в деле производства стали, поскольку никто из его собственных детей не пошел по пути отца. Старый мастер не ошибся. После окончания училища Василий работает вместе с дядей - мастером по отливке стального фасонного литья, осваивает производство тигельной и мартеновской стали.

Своды мартеновских печей в ту пору собирали из динасового кирпича. Этот кирпич не удовлетворял требованиям металлургов, так как имел низкую стойкость. Потери металла из-за частых ремонтов печей и испорченные шлаки при плавке стали из-за оплавления сводов не давали возможности металлургам улучшить качество и увеличить количество выплавляемой стали.

Василий Швецов убедился в этом на собственном опыте. И нет ничего удивительного, в том, что в 1925 году он начинает серьезно заниматься производством огнеупоров. Возможно, что этому содействовало и то обстоятельство, что и его отец Николай Николаевич был известен на заводе как разработчик новых огнеупорных материалов.

Так или иначе, Василий Николаевич хорошо понимал, что дальнейшее развитие сталеплавильного производства нуждается, прежде всего, в хороших огнеупорных материалах. А для этого нужна хорошая обжигательная печь. Вот почему он начал с того, что переделал конструкцию рекуператоров обжигательных печей, и теперь они стали работать не на древесном угле, как прежде, а на буром или каменном, потом даже на коксе. Это позволило поднять температуру рабочего пространства печи и создать лучшие условия для обжига кирпича. Теперь можно внедрить новую, разработанную Василием Николаевичем технологию производства «черного динаса». «Черный динас» делает чудеса: стойкость сводов мартеновских печей из такого кирпича возросла в два раза и достигла 200-300 плавок. В 30-40 годы это был фантастический результат!

Техник Василий Швецов понимает, что для дальнейшего совершенствования процесса производства огнеупоров нужны знания. Упорное самообразование позволяет ему в 1928 году экстерном закончить Уральский индустриальный институт и получить диплом инженера. Новые знания позволили разработать научно обоснованную технологию производства динаса из уральских квасцов. Теперь местный динасовый кирпич не уступал по качеству заграничному.

Своими разработками В.Н. Швецов щедро делился с коллегами. За его статьями в технико-производственных журналах «Предприятие», «Уральский техник», «Вестник металлопромышленности», «Инженерный труд» внимательно следят металлурги страны: многие его разработки тотчас внедряются на других металлургических заводах.

Василий Швецов был не только металлургом, но и журналистом, активно печатался в местной прессе, был постоянным корреспондентом в газете «Экономическая жизнь» (Москва). Им в периодических изданиях опубликовано более 200 статей, очерков, сообщений. Совместно с краеведом К.Р. Петровым он издал в Златоусте книгу «Из прошлого златоустовских заводов» (1926 г.). Его перу принадлежит также еще несколько книг-брошюр на исторические и производственно-технические темы. Он организовал в Златоусте «Союз инженеров и техников» и с 1920 года был бессменным председателем правления этого союза.

Потомок крепостного крестьянина, последний умелец-металлург из династии Швецовых был глубоко интеллигентным человеком. Много читал, хорошо играл на пианино, с воодушевлением пел русские народные песни.

Свою производственную карьеру В.Н. Швецов закончил на посту технического директора абразивного производства Златоустовского абразивного завода. 13 февраля 1937 года Нарком тяжелой промышленности Серго Орджоникидзе приказом по комиссариату отметил 35-летнюю общественную и рационализаторско-изобретательскую деятельность Василия Николаевича, а вскоре он был арестован как «враг народа». Правда, через некоторое время в результате исправления, как оказалось, «ошибки» В.Н. Швецов был реабилитирован и получил право продолжать работать. Но работать было уже некому. В 1938 году он умер в заключении.

Так закончила свое существование на златоустовских заводах знаменитая династия умельцев-металлургов Швецовых.

## Глава 17. СЕКРЕТ КАТАВ-ИВАНОВСКОЙ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

В тот год весна выдалась поздняя, но дружная. Снега быстро стаяли даже на вершинах могучего Зигальга, возвышающегося над поросшими соснами и елями Уральскими горами.

Особенно быстро снег стаял на южных склонах гор, откуда берет свое начало небольшая, но бурная по весне речушка, которую башкиры за это называли Катав - Быстрая река. Ее разлива можно было ожидать со дня на день, и башкиры, зимовавшие здесь, оставили зимовье и ушли в степь. Не думали они, что привычную стоянку — небольшую впадину, окруженную тесно столпившимися горами, где и ветер зимой не так дует, и дрова под боком, и корма лошадям много, — покидают навсегда.

Как раз на этом месте вскоре началось строительство плотины. На берегах реки люди стали ставить бревенчатые четырехстенные дома. По всему было видно, что они устраивались надолго, а называли себя эти люди Ивановскими. Так весной 1754 года на западных склонах Южного Урала в долине реки Катав было основано одно из первых горнозаводских поселений — Катав-Ивановский завод. Строили завод сибирский купец Иван Борисович Твердышев и его зять Иван Семенович Мясников.

В 1756 году было закончено в основном строительство огромной по тем временам плотины — длиной 300 и высотой 8 метров. Плотина имела три особых сооружения для пропуска воды. Перед ней сделали большую запруду, а за ней на берегу реки поставили две доменные печи и кричные горны. Воздушные машины (горновые меха) и кричные молоты приводились в действие водяными колесами. В начале 1757 года Катав-Ивановский «железододействующий» завод производил уже чугуны и кричное железо.

17 августа 1757 года Берг-коллегия слушала выписки по прошениям сибирского купца и медных заводов содержателя Ивана Твердышева и компанейщика его Ивана Мясникова о построении ими в Оренбургской губернии, внутри Башкирии — на реке Катав, железного завода и «того ради» приказала: «...как выше явствует, что оным завододержателям Ивану Твердышеву и компанейщику его Ивану Мясникову на вышеописанном ими месте в Оренбургской губернии на реке Катав железо-вододействующий доменный и молотовый завод Берг-коллегией завести позволено...».

Хоть и назывался Катав-Ивановский завод «железнодорожным», но являлся он, по сути дела, чугуноплавильным. Только одна пятая часть чугуна перерабатывалась на железо. Переработкой основного количества получаемого чугуна занялись вскоре построенные Юрюзанский и Минский, а затем и Усть-Катавский передельные заводы. В 60-е годы XVIII века в этом же районе строятся Симский и Белорецкий железоделательные заводы. Катав-Ивановск в короткий срок становится административным центром крупного по тем временам железоделательного округа.

Две доменные печи, сооруженные при основании Катав-Ивановского завода, становятся одними из самых мощных на Урале и в России. Каждая из домен выплавляла свыше 100 тысяч пудов (1640 тонн) чугуна в год. Печи работали на богатых железом и очень чистых, содержащих мало вредных примесей, бакальских рудах и древесном угле. Катав-Ивановский чугун и получаемое из него сварочное железо стали вскоре широко известны.

На небольшом холме в центре Катав-Ивановска, отсюда открываются живописные дали, до сих пор возвышается старинное здание церкви — памятника архитектуры XIX века. Но замечателен этот храм не только своей архитектурой. Колоннада, поддерживающая арки трех его нефов, связана каркасом, сооруженным из восьми — десятиметровых стальных балок с поперечным сечением примерно 40 см<sup>2</sup>. Балки кованые, некрашенные, покрытые тонкой пленкой окислов, имеющей коричневатый цвет. За 160 лет балки совершенно не изменились. Ни одна из них не просела, на поверхности балок не заметно и следов атмосферной коррозии.

Когда при реконструкции церкви в 30-х годах XX столетия одну из балок попытались снять, то оказалось, что она очень плохо поддается современному режущему и рубящему инструменту. По этой причине ее оставили в покое. По своим свойствам эти балки напоминали рельсы, по которым в былые времена вагонетками подавали шихту на колошники доменных печей. Металл этих рельсов тоже не поддавался никакому режущему инструменту, кроме абразивного круга.

В 1934 году с пуском Магнитогорского металлургического комбината Катав-Ивановские домны перестали работать. Они были демонтированы. Но старые подъездные пути кое-где остались. На месте железоделательного завода работал новый — литейно-механический.

Третий год шла война с фашистской Германией. День и ночь на заводе точили снаряды, столь необходимые для фронта, для победы. Не хватало инструмента. И тогда вспомнили о знаменитых катав-ивановских рельсах. Их начали с успехом использовать для изготовления режущего сталь инструмента.

Рельсы, которые выпускались Катав-Ивановским металлургическим заводом в конце XIX - начале XX столетия, делались из бессемеровской стали. Самые крупные бессемеровские конвертеры были установлены в то время на Катав-Ивановском металлургическом заводе, здесь же было организовано мощное рельсопрокатное производство.

Сохранились документы, свидетельствующие о том, что рельсы Катав-Ивановского завода обладали необыкновенно высоким качеством. Они экспортировались даже за границу, например, в Англию. Причем завод гарантировал безупречную работу своей продукции в течение многих лет. При выходе рельсов из строя он давал обязательство безвозмездно заменять их и оплачивать убытки. Неизвестно ни одного случая рекламаций на катав-ивановские изделия.

Сегодня секрет высокого качества катав-ивановских рельсов раскрыт. Дело в том, что катав-ивановский чугуны выплавлялся на чистых по содержанию вредных примесей высокожелезистых бакальских рудах. К ним добавлялась бедная по железу местная руда, найденная в небольшом количестве недалеко от города. Была гипотеза, что местная руда кроме железа содержала марганец и хром. Поэтому в Катав-Ивановске производили природнолегированный марганцем и хромом чугуны. Продувая этот чугуны в конвертере, получали природнолегированную марганцем и хромом сталь. Сегодня металлургам хорошо известно, что природнолегированная хромомарганцовистая сталь, полученная описанным способом, должна обладать высокими механическими свойствами. Но содержала ли марганец и хром сталь катав-ивановских рельсов? Нами было доказано, что содержала.

В 1891 году начинает строиться Транссибирская железнодорожная магистраль. В начале нашего века стальная колея достигает города Кургана. Рельсы поставляют многие демидовские заводы, а также катав-ивановские и южные заводы Бельгийского акционерного общества на Украине (Юзовка, ныне Донецк). Кстати Юз, владелец рельсопрокатного завода, не мог конкурировать с



катав-ивановскими рельсами. Он купил рельсопрокатное производство в Катав-Ивановске и закрыл его.

В те времена оживает строительство города Кургана. В качестве строительных материалов годится все, в том числе и куски рельсов, оставшихся от прокладки железнодорожного полотна. И вот, в Кургане, по улице Томина, 64 для сооружения балкона на втором этаже деревянного дома использовались два таких «обломка». Балкона давно нет, а рельсы торчат. На рельсах хорошо сохранилась чеканка, которую можно легко прочитать. На полке одного рельса написано «И. ЖД Демидова НТЗ IV мца 1896 года». Этот рельс сделан заводом Демидова в Нижнем Тагиле. Надпись на полке другого рельса гласит: «XI мца. 1900 года К.З. Кн. Белосель».



***Рис.10. Рельсы, сделанные заводом Демидова в Нижнем Тагиле и заводом Белосельского - Белозерского в Катав-Ивановске на доме по улице Томина, 64 в г. Кургане***

В Петербурге, на углу Невского проспекта и Фонтанки, около Аничкова моста со знаменитыми скульптурами лошадей П.К. Клодта, возвышается красивый дворец, выстроенный в стиле позднего

барокко. Дворец построен в середине прошлого столетия и принадлежал богатым князьям Белосельским - Белозерским. Этот дворец связан с производством катав-ивановской рельсовой стали.

Дело в том, что князья Белосельские - Белозерские были владельцами Катав-Ивановского металлургического завода. Сомнений никаких быть не могло, и был тот, который долго разыскивали любители загадок прошлого.

Оставалось только отпилить кусочек от рельсы и дать на химический анализ. Но отпилить не удалось — инструмент не брал, пришлось отрезать кислородным резаком. Химический анализ подтвердил, что катав-ивановский рельс содержит около одного процента марганца и одного процента хрома, в то время как демидовский имеет состав обычной рельсовой стали. Так был окончательно разгадан секрет когда-то знаменитой катав-ивановской рельсовой стали.

## Глава 18. **НЕРЖАВЕЮЩАЯ СТАЛЬ**

В России промышленное производство нержавеющей хромоникелевой стали 18-8, как ее тогда маркировали Я1, впервые было осуществлено в начале 30-х гг. прошлого столетия на заводе «Электросталь» мастерами Ф. Еднералом и М. Перцевым под руководством начальника смены Ф. Тевосяна, впоследствии Наркома черной металлургии.

В январе 1934 г. на Златоустовском металлургическом заводе начал работать второй после «Электростали» электросталеплавильный цех. В литейном пролете цеха были установлены четыре электропечи; две восьмитонные и две пятнадцатитонные, которые в дальнейшем были переделаны на двенадцатитонные и двадцатитонные. На заводе началось освоение производства высококачественных сталей.

В самом начале Отечественной войны в Златоуст были эвакуированы электропечи с завода «Электросталь», теперь в цехе работало 8 печей; 6 – двенадцатитонных и 2-двадцатитонные. В начале войны электросталеплавильный цех был единственным, производящим высококачественную легированную сталь. «Одна тонна Златоустовской стали дает возможность использовать для военной техники сто тонн магнитогорской!» - утверждал Нарком черной металлургии Ф. Тевосян.

В 1942 г. на заводе начали производить нержавеющую сталь 18-8 (Я1). Весомый вклад в совершенствование технологии производства нержавеющей стали Я1 вносят златоустовские металлурги. Повальный брак по интеркристаллитной коррозии на стали привел к отказу от ее выплавки. Было обнаружено, что при содержании углерода в стали Я1 больше, чем 0,03% в стали на границе зерен выделяются карбиды хрома, которые вызывают интеркристаллитную коррозию и разрушают сталь. Чтобы избежать этого дефекта, в сталь начали вводить титан, который обладал большим сродством к углероду, чем хром, и образовывал карбиды, которые не выделялись по границам зерен, и этим самым устранял интеркристаллитную коррозию. После этого сталь начали маркировать Я1Т.

Сталь Я1Т являлась сталью аустенитного класса, титан способствовал выделению  $\alpha$ -фазы (феррита) и этим самым ухудшал пластичность стали. Поэтому содержание титана в стали должно

было строго соответствовать содержанию углерода. Пришлось в лаборатории контрольных испытаний организовать новые методы испытания на  $\alpha$ -фазу и интеркристаллитную коррозию. На основе многочисленных данных по дефектам в стали Я1Т была составлена номограмма по добавкам в сталь титана в зависимости от содержания в ней углерода.

Получить в нержавеющей хромоникелевой стали Я1Т необходимое содержание углерода часто не удавалось: во время присадки в стальную ванну феррохрома сталь науглероживалась графитовыми электродами. По этой же причине невозможно было выплавлять сталь Я1Т методом переплава отходов. Между тем количество отходов катастрофически росло.

Предложение инженера В.И. Бутина и старшего мастера электросталеплавильного цеха Н.Д. Задой выплавлять сталь Я1Т комбинированным способом оказалось весьма своевременным. Сталь плавил в двух печах. В одной печи расправляли углеродистые отходы. Окислив углерод, добавив никель, получали железоникелевый расплав с содержанием углерода 0,03-0,05%. В другой печи переплавляли отходы стали Я1Т. Добавив хром, получали железохромоникелевый расплав с содержанием углерода 0,14-0,16%. После присадки ферротитана обе плавки сливали в один ковш (в цехе это было возможно, так как краны были грузоподъемностью 30 тонн) и получали сталь Я1Т с содержанием углерода 0,10-0,12%. Способ «прижился» на заводе. Утилизация отходов сэкономила немало никеля и низкоуглеродистого феррохрома.

Впоследствии сталь Я1Т плавил с применением кислорода. Применение кислорода при выплавке нержавеющей стали методом переплава уменьшило содержание в ней углерода и повысило качество нержавеющей стали.

Металлурги постоянно думали о том, как выплавить нержавеющую хромо-никелевую сталь с содержанием углерода  $\leq 0,03\%$ . В такую сталь не надо добавлять титан, и ее пластичность значительно повышается, что очень важно для изготовления из нее изделий на машиностроительных заводах.

Впервые сталь Я1, по новой маркировке сталь 000X18H8, содержащая углерода менее 0,3% была выплавлена в 1966 году способом, изобретенным Ю.Г. Гуревичем и А.М. Маркеловым.

Дело в том, что, как уже было замечено, в периоды плавки – при расплавлении и последующем кипении железоникелевого рас-

плава – удаление углерода до содержания менее 0,03% особых трудностей не составляло. Науглероживание жидкой стали происходило в последующий период плавки – в период присадки на шлак большого количества низкоуглеродистого феррохрома, который во время расплавления и последующего растворения в стали жадно поглощает углерод, выделяемый графитовыми электродами. Поэтому напрашивалась идея именно в этот период плавки заменить графитовые электроды на расходоуемые стальные из той же марки стали. Естественно, что в этом случае никакого науглероживания феррохрома и стальной ванны происходить не должно было. Важно только, чтобы стальные электроды были погружены в шлак, потому что прогрев и растворение феррохрома в стальной ванне в этом случае будет идти быстрее, а затраты электроэнергии меньше. Но где взять такие электроды?

Оказалось, что обрез прибыльной части слитка после проката стали 12Х18Н8 на блюминге являлся цилиндром диаметром 120-150 мм и длиной 1,2-1,5 м, который подходит для этой цели. Известно, что прибыльная часть слитка не является годным металлом потому, что содержит много вредных примесей и особенно неметаллических включений. В нашем случае это было не опасно, поскольку расплавленный из металлических электродов металл просачивался через шлак и очищался от вредных примесей процессом, имеющим место при электро-шлаковом переплаве.

Первые же опыты убедительно подтвердили, что выплавка нержавеющей хромоникелевой стали в дуговой электропечи с применением металлических электродов позволяет, во-первых, получать сталь с углеродом 0,03% и менее, а во-вторых, получать более чистый металл за счет взаимодействия наплавляемой из металлических электродов стали со шлаком заданного состава.

Через некоторое время завод принял заказ на несколько плавок хромоникелевой углеродистой стали без содержания титана с углеродом до 0,03%. Получив такую сталь, многие заказчики отметили очень хорошее качество нержавеющей стали и даже прислали благодарственные письма.

Некоторое время завод выплавлял низкоуглеродистую нержавеющую сталь по разработанной нами технологии. Но смена электродов во время плавки - процесс очень трудный для сталеваров. Поэтому, когда появилась аргонокислородная продувка, низкий углерод в нержавеющей стали можно было получить продувкой этим газом

жидкой стали после ее выпуска из печи в ковш.

Технология выплавки стали с применением расходуемых металлургических электродов вскоре была забыта.

В начале 50-х годов прошлого столетия в прокате заготовок из подприбыльной части слитка стали 12Х18Н8Т часто появлялся дефект в виде «корочки».

Исследованием было установлено, что его причинной являются нитриды титана, которые, будучи легче стали, всплывают на поверхность слитка и являются подложками для кристаллизации стали. Холодные стенки изложницы способствовали образованию «титановой корочки» и попаданию ее в заготовки после проката.

Как известно, хром хорошо поглощает азот, и поэтому его содержание в нержавеющей стали часто достигает 0,026%. Титан, обладающий высоким сродством к кислороду, при температурах кристаллизации слитка образует мелкие включения твердых нитридов. Дефект был назван «титановой корочкой». Все попытки снизить содержание азота в стали к успехам не привели.

Исследования показали, что дать возможность всплыть «титановой корочке» в прибыльную часть слитка можно только организацией таких условий разливки, которые бы исключали приставание «корочки» к стенке изложницы. И такие условия были найдены.

В начале 50-х годов прошлого столетия группа златоустовских инженеров во главе с Г.А. Хасиным и Ю.Г. Гуревичем предложила использовать для смазки изложниц проразливки стали отход нефти - петролатум, который при комнатной температуре представлял собой твердое вещество, плавился при температуре 65-70<sup>0</sup>С, при более высоких температурах быстро испарялся. Петролатум было легко приготовить для употребления: его расплавляли в жаровнях, резали на куски, заворачивали в газету и укладывали на дно изложницы. Применение петролатума полностью устранило дефект «титановая корочка». Технология разливки стали с петролатумом применяется на Златоустовском заводе до сих пор.

## Глава 19. ГЕНЕРАЛ ОТ МЕТАЛЛУРГИИ

Когда я бываю в Москве и езжу в метро, я всегда выхожу на станции «Маяковская». Я в десятый, сотый раз долго рассматриваю серебристые арки из нержавеющей стали, обрамленные черным лабрадором, белым мрамором и особенно красивым розовым туфом. При этом я вспоминаю того, кто впервые в нашей стране, на заводе «Электросталь», освоил промышленное производство нержавеющей стали и одну из первых плавок этой стали сделал для изготовления этих самых арок на станции «Маяковская». Имя этого человека Федор Прокопьевич Еднерал.

Прокопий Еднерал жил в Восточной Польше, родился он в семье, в которой мать была русской, а отец поляком. И фамилия его была вовсе не Еднерал, а Еднаорал («один плуг»). В первую империалистическую войну во время оккупации Польши немцами семья переехала в Россию, в город Троицк. Здесь, на Урале, неблагозвучная на русском языке польская фамилия Еднаорал стала Еднералом.

На новом месте сам Прокопий плотничал, а его дети учились. Особенно упорно учился сын Федор. Окончив школу, он уехал в Москву и поступил в Горную академию, после окончания которой в 1928 году получил назначение на строящийся завод «Электросталь». В первом электросталеплавильном цехе он работал вместе с М.Перцевым, сменным мастером, будущим начальником Госплана СССР, а начальником смены у них был будущий Нарком черной металлургии Ф. Тевосян.

В 1932 году три металлурга Ф.Тевосян, Ф.Еднерал и Е. Емельянов (в последствие директор Челябинского ферросплавного завода, а с 1946 года Председатель комитета по атомной энергии СССР) командированы в Германию на заводы Крушпа для изучения технологии электропечных процессов выплавки стали и ферросплавов. Тевосян изучает технологию выплавки легированных конструкционных марок сталей, Еднерал - нержавеющей, а Емельянов - ферросплавов.

Вернувшись из Германии, Федор Прокопьевич получает правительственный заказ: сделать нержавеющую сталь для Московского метрополитена и кремлевских звезд. Молодой мастер выполняет этот заказ и первым в СССР осваивает промышленное производство нержавеющей стали Я1 и Я1Т (так тогда маркировали сталь 12Х18Н8 и 12Х18Н8Т).

В 1934 году он начальник строящегося 3-го электросталеплавильного цеха, а в 1937 - подменяет главного инженера завода.

В 1938 году карьера Ф.П. Еднерала внезапно оборвалась: он был арестован и обвинен во вредительстве. Следствие длилось год. Благодаря вмешательству Ф.Тевосяна в конце 1939 года Ф.П. Еднерал был освобожден, но на завод не вернулся. Он защитил кандидатскую диссертацию и стал работать доцентом кафедры «Электрометаллургия» Московского Института стали.

В 1941 году грянула война. По личной просьбе Наркома черной металлургии Ф.Тевосяна Еднерал приезжает в Златоуст и становится начальником первого электросталеплавильного цеха. Трудно переоценить его вклад в освоение и производство столь необходимых для обороны легированных конструкционных электросталей в период Великой Отечественной войны.

Федор Прокопьевич обладал немецкой аккуратностью, польским упрямством и русской трудоспособностью. Жил он один, семья была эвакуирована в г. Новокузнецк. Завтрак и ужин готовил себе сам, обедал в заводской столовой. Каждый день стирал себе рубахи и белые воротнички. В ужасно грязный, пыльный и душный первый электросталеплавильный цех он приходил каждый день в рубашке с белоснежным воротничком и в галстуке. Приходил ровно в 8 утра и уходил ровно в 8 вечера.

С утра он обходил цех. Начиная с канавы. Если шла разливка, он долго стоял, смотрел, как разливщик «держит корочку», с какой скоростью разливает. Иногда делал замечания. Возражений не терпел. Если видел на полу скрапину или не вынутый из изложницы недолиток, он моментально выходил из себя. Нет, он не кричал, он вообще не допускал даже повышения голоса на подчиненных, но его шея багровела, лицо заливалось краской, глаза готовы были вот-вот выскочить из орбит.

«Что это такое, - шептал он (у рабочих и мастеров от этого шепота мурашки по спине бегали), - если еще раз замечу, буду вынужден наказать».

Наказывал он редко. Его боялись, многие даже не любили, но уважали все. За спиной его называли: «Наш генерал - Еднерал!». Распоряжения его выполнялись безукоризненно, в цехе был образцовый порядок. Его, обладающего огромным производственным опытом, обмануть было невозможно.

«Инженер - творец. Это значит, не превращаться в «мастера»,



формально относящегося к производству, обрабатывающего часы. Инженер - тот, кто будит творческую мысль подчиненных, кто помогает рационализаторам, кто не свыкается с узкими местами», - учил он и первый подавал пример этому.

В те времена самым узким местом была футеровка электропечей. Свод электропечи из динасового кирпича состоял из 8-12 плавок, а набивные магнезитовые стенки печи, столбики и арочка завалочного окна часто не выдерживали температуру, плавилась, и шлак становился магнезиальным: плавка была испорчена, отливали брак. Еднерал предложил охлаждать арку завалочного окна и водоохлаждаемые блоки для стенок электропечей. Стойкость футеровки значительно увеличилась, брака в связи с магнезиальными шлаками стало гораздо меньше. Трудно перечислить все поправки, которые ввел Еднерал в технологию выплавки электростали. При особо важных заданиях на выплавку ответственных марок стали он сам становился у печи и вел плавку.

Кончилась война, и Федор Прокофьевич вернулся в Институт стали на кафедру «Электрометаллургия». Вскоре он стал профессором, защитил докторскую диссертацию. Последние годы жизни он заведовал кафедрой «Металлургия стали» Московского вечернего металлургического института.

Ученики и сослуживцы профессора Ф.П. Еднерала вспоминают его с чувством глубокого уважения и признательности за его обширные знания, за кристальную честность, порядочность и организованность. Написанный им учебник «Электрометаллургия» до сих пор является настольной книгой не только студентов, но и заводских инженеров.

## Глава 20. ЖЕЛЕЗО РЕЖЕТ АЛМАЗ

Только алмазные волокна способны длительное время противостоять разрушающему действию движущейся металлической полосы или проволоки. Стойкость алмазных волокон в тысячи раз больше стальных, и они практически незаменимы при волочении тонких проволок из высокопрочных сплавов, особенно в тех случаях, когда требуется точная окружность, постоянство диаметра сечения и гладкая поверхность.

Даже нити парашютной ткани протягиваются только с помощью алмазных волокон. Они обеспечивают нити необходимую гладкость, которая гарантирует своевременное и быстрое раскрытие парашюта.

Примечательно, что первый цех алмазного инструмента был создан в конце прошлого века Константином Сергеевичем Алексеевым (Станиславским), известным актером, режиссером, основоположником науки о театре. Любопытно, что свою деятельность молодой инженер Станиславский начинал на московской фабрике «волоченного и плющеного золота и серебра», выпускавшей тончайшую проволоку и канитель (тонкую витую проволоку). Из канители делались самые дорогие серебряные и золотые изделия.

В производстве применялись чугунные волокна, а на них процесс вытяжки тонкой проволоки был очень длительным («канительным», как теперь говорят). Применение алмазного инструмента затруднялось в связи с тем, что вплоть до конца XIX века производство волокон из драгоценных камней было монополией западных фабрикантов, в основном, французских и итальянских.

К.С. Станиславский едет за границу, знакомится с производством алмазного инструмента и по возвращении в Москву организует на фабрике цех по изготовлению алмазных волокон. На состоявшейся в 1900 году Всемирной промышленной выставке в Париже продукция золотоканительной фабрики получила высшие награды, а К.С. Станиславский был награжден медалью и дипломом выставки.

Как же обрабатывают алмаз, если он самый твердый из известных материалов? Долгое время алмазы служили только для украшений. Обрабатывать их не умели, и они выглядели не совсем эффектно в своей естественной тусклой оболочке.

В 1445 году голландец Людвиг Беркен открыл способ гранить,

шлифовать и полировать алмазы при помощи порошка этого же драгоценного минерала.

Он впервые обработал для бургундского герцога Карла Смелого крупнейший в Европе алмаз лимонно-желтого цвета, по форме напоминающий розу. После полировки камни, сверкающие всеми своими гранями, стали очень красивыми. С того далекого времени по сей день алмазы обрабатывают алмазным же инструментом.

При обработке алмазными резцами алмаз превращается в отходы больше половины драгоценного кристалла. К тому же механическим способом алмаз удается обрабатывать не во всех направлениях. Особенности кристаллической решетки алмаза делают его неодинаково твердым в разных плоскостях. Поэтому алмаз поддается механической обработке только по «мягким» направлениям и распиливать его можно лишь так, чтобы плоскость среза соответствовала расположению атомов углерода в плоскостях куба и ромба  $o d o d e k a \text{ \textit{э} д р а}$ .

Ученые долгое время искали новые эффективные способы обработки алмаза. Один из таких способов, существенно упрощающий изготовление традиционных изделий из алмаза и открывающий новые возможности его обработки, разработан в Якутском филиале Сибирского отделения РАН. Он основан на явлении, известном металлургам, - растворении алмаза (углерода) в железе. Еще П. П. Аносов, изучая формы существования углерода в стали, растворял в ней алмаз. Известно это явление очень давно, а вот применять его для резки алмаза научились сравнительно недавно. В чем же дело? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо рассмотреть строение и свойства алмаза.

Каждый атом углерода в структуре алмаза соединен со своими соседями четырьмя прочными связями, называемыми ковалентными. Природа этих самых прочных связей определяется небольшим размером атомов углерода. С другой стороны, благодаря своему небольшому размеру атомы углерода при соответствующей температуре способны проникать в решетку металлов, образуя твердый раствор внедрения. Растворять в себе углерод могут не все металлы, а только те, атомы которых имеют недостроенную внутреннюю электронную оболочку. Они называются переходными металлами. Из переходных металлов лучше всего в твердом состоянии растворяют углерод железо, никель и кобальт.

Много лет тому назад во Франции для подтверждения угле-

родной природы алмаза был проделан следующий эксперимент. Алмаз положили на брусок железа, который нагрели в нейтральной среде до  $1000^{\circ}\text{C}$ . В месте контакта с алмазом мягкое железо науглеродилось и превратилось в сталь. Этот опыт хорошо объясняет, почему железо в ряде случаев не удавалось обрабатывать алмазными резцами - оно нагревалось и растворяло алмаз.

Теперь ясно, как можно железом резать алмаз. Если положить на алмаз железную проволоку и нагреть в вакууме эту систему, то атомы углерода начнут «внедряться» в железо, алмаз будет растворяться и проволока его разрежет.

Проблема только в том, что процесс растворения углерода в железе не бесконечен. Проволока сравнительно быстро насытится углеродом, и процесс «резания» сначала резко замедлится, а потом прекратится совсем. Следовательно, чтобы железо «резало» алмаз, из него необходимо все время убирать углерод. Если это делать, то железо не будет терять своих режущих свойств.

При растворении алмаза в железе происходит разрыв прочных ковалентных связей, которыми атомы углерода связаны между собой в решетке алмаза. В твердом растворе внедрения, который образует углерод в железе при  $1000^{\circ}\text{C}$ , растворимое вещество (углерод) практически находится в атомарном состоянии, испытывая лишь слабое химическое взаимодействие с металлом-растворителем (железом). Поэтому растворенные в железе атомы углерода значительно более активны, чем в алмазе. При температуре «резания» ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) алмаз не способен взаимодействовать с водородом или углекислым газом, а растворенный в железе углерод хорошо с ними взаимодействует. Реакция протекает на поверхности металла и сопровождается образованием газообразных продуктов: метана или окиси углерода.

Если на алмаз положить тонкую железную пластинку и нагревать ее до температуры выше  $1000^{\circ}\text{C}$  в атмосфере водорода, то углерод начнет растворяться в железе и за счет диффузии двигаться в направлении поверхности пластинки. Достигнув ее, он «найдет» водород и, соединившись с ним, образует метан, который тут же покинет пластинку. Растворяя углерод алмаза своей нижней поверхностью и передавая его газу верхней, железная пластинка будет равномерно погружаться в алмаз. Скорость погружения, она же скорость резания, будет зависеть от температуры, толщины пластинки, состава, давления и скорости протекания газа над пластинкой.

# СЛОВАРЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

*Горн* - очаг для нагревания руды или металла, снабженный воздушными мехами.

*Доменная печь, домна* — вертикальная шахтная плавильная печь для получения чугуна из железной руды, топлива и флюса.

*Железные обсечки* — мелкий железный лом, обрезки полос и проволоки.

*Закалка* — термическая обработка сталей и сплавов, которая состоит в нагреве до определенной температуры с последующим быстрым охлаждением с целью получения структуры, обеспечивающей высокую твердость, износостойкость и прочность.

*Инструментальная сталь* — высокоуглеродистая и легированная сталь с высокой твердостью, прочностью, износостойкостью, которая применяется для изготовления режущего, штампового и измерительного инструмента.

*Конвертер* — агрегат для получения стали из расплавленного (жидкого) чугуна.

*Конвертерное производство* — производство стали в конвертерах продувкой жидкого чугуна воздухом или кислородом.

*Крица* — комок пористого, тестообразного, пропитанного жидким шлаком металла.

*Кричное (сварочное) железо* — железо, полученное путем восстановления руды или окисления чугуна при температуре 800-1350 °С.

*Кричный горн* — очаг для нагревания руды и топлива при получении железа кричным способом.

*Кричный передел* - процесс рафинирования чугуна в кричном горне с целью получения сварочного железа. Вытеснен появившимися в конце XIX века бессемеровским и мартеновским процессами.

*Легированная сталь* — сталь, в состав которой для улучшения ее физических и химических свойств введены легирующие элементы (марганец, кремний, никель, хром, молибден, вольфрам и другие).

*Мартеновское производство* — производство стали в мартеновских печах путем окислительной плавки железосодержащих материалов. В конце XIX - начале XX веков было основным

сталеплавильным процессом.

*Мартеновская печь* — пламенная регенеративная подовая печь для переработки чугуна и стального лома в сталь.

*Межа* — аппарат для нагнетания воздуха, применяемый для раздувания огня в горне.

*Окалина* — слой оксидов, образующийся на поверхности стали после нагрева иковки или прокатки.

*Отжиг* — термическая обработка стали и сплавов, которая заключается в нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении. Отжиг выравнивает структуру, обеспечивает ее устойчивость, снижает твердость и улучшает обрабатываемость стали и сплавов.

*Отпуск* — нагрев закаленного сплава ниже температуры фазовых превращений с целью получения необходимых свойств стали или сплава.

*Прочность* — свойство материалов сопротивляться разрушению или пластической деформации под действием внешних сил. Чем больше в стали углерода, тем она прочнее.

*Рафинирование* — удаление вредных примесей из металлов и сплавов во время плавки.

*Руда* — горная порода, содержащая металл.

*Сталь* — железоуглеродистый сплав, содержащий менее 2% углерода с возможными добавками других элементов.

*Структура* — внутреннее строение металла и стали, изучаемое невооруженным глазом или под микроскопом.

*Сыродутный процесс* — древний способ получения железа в виде крицы путем непосредственного восстановления руды в горне при 800-1350°C. Вытеснен в XIV в. кричным переделом.

*Сырцовая сталь* — ковкая углеродистая сталь, отличающаяся от сварочного железа тем, что ее можно упрочнять закалкой.

*Тигельная сталь* — сталь, полученная переплавом металлической шихты с флюсующими материалами в огнеупорном тигле.

*Флюс* — вещество, добавляемое к руде или металлической шихте для снижения температуры плавления и образования шлаков.

*Цементация* — процесс науглероживания железа или стали.

*Цементит* — химическое соединение железа с углеродом — карбид железа. Структурная составляющая сплава железо-углерод.

*Чугун* — железоуглеродистый сплав, содержащий более 2% угле-

рода и повышенное количество примесей.

*Шихта* — смесь материалов (руда, металл, кокс — уголь, флюс и другие), в определенных пропорциях, загружаемых для плавки в металлургический агрегат.

*Шлак* — обязательный компонент при выплавке чугуна и стали. Расплав оксидов, сульфидов и других соединений. В твердом состоянии стекловидная или каменная застывшая масса.

*Электросталь* — сталь, полученная рафинированием с помощью электрического тока. Электростали считаются высококачественными сталями (содержат менее 0,03 % серы и 0,03 % фосфора).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Āóðáâ÷ ð .Ā Êëänñèò èèàòèy áóèàðà í î ì àèðí - è ì èèðí -ñòðòèèòóðā // Ī àòàèèí ááááí èà è òáðì è-áñèày í áðááí òèà ì àòàèèí á. - 2007. -<sup>1</sup> 2. - Ñ. 3-7.*
2. *Áí í ñí á Ī .Ī .Ñí áðáí èá ñí ÷èí áí èé. - Ī .: Èçá-áí ÁÍ ÑÑÑÑ 1954.- Ñ. 205.*
3. *Ááèáí èòèè Á.Ī . Āèááá «Ī æáèáçá» Ī èí áðáèí æ÷áñèí áñ òðáèòàðà Áé-ðóí è // ÁÍ ÑÑÑÑ: Èðáòèèá ñí í áù áí èy Èí ñòèòóðà èñòí ðèè ì àðáðè àèü-í í é èóèüòóðü èì . Ī .β. Ī àððà. - 1950.- Áú ĩ . XXXIII. - Ñ. 139-144.*
4. *Ī àðáí ò. 2051184 Ðí ññèy. Ñí í ñí á èçáí òí áèáí èy áóèàðí í é ñòàèè // ð .Ā. Āóðáâ÷ // Ī òèðü òèy. Èçí áðááí èy. - 1996. - Ñ. 34-38.*
5. *Āóðáâ÷ ð .Ā. Áóèàð. Ñòðòèèòóðà, ñáí éñòàà è ñáèðáðü èçáí òí áèáí èy. - Èóðááí , 2006. - 156 ñ.*
6. *Āóðáâ÷ ð .Ā. Èí ñòðòí áí ò èç áóèàðí í é ñòàèè // Òáðí í èí áèy ì àð èí í -ñòðí áí èy. - 2007. - Ñ. 24-26.*
7. *Ī àðáí ò 2051977 Ðí ññèy. Ñí í ñí á í í èó÷áí èy áóèàðí í é ñòàèè // ð .Ā. Āóðáâ÷ ÷. Ī òèðü òèy. Èçí áðááí èy. - 1996. -<sup>1</sup> 24. - Ñ. 12-16.*
8. *Āóðáâ÷ ð .Ā. Ī áí áððèñòó Ī .Ā. Ī ðí èçáí áñðáí òè ááèüí í é ñòàèè á Ñá-ááðí í é Òáðááí á á IX - í à-àèá XIII ááèà // Ī àòàèèòóðā - 1992. -<sup>1</sup> 3. -Ñ. 36-38.*
9. *Feuerbach A.M., Merkel John F. An examination of crucible steel in the manufacture of Damascus steel, including evidence from Merv, Turkmenistan Metallurgica antique. Der Anschnitt, Beiheft. - 1998. -<sup>1</sup> 8.- P. 37-43.*
10. *Āóðáâ÷ ð .Ā. Ī áí áððèñòó Ī .Ā. Êí èü÷òáá Òáí áðèáí à // Ī àòàèèòóðā - 1992. -<sup>1</sup> 4. - Ñ. 28-30.*
11. *Bayasgalan P., Curáwich Y/G., Gomposcren G. / Best Damascus Indian vunca-made in territories of the Great Mongol /An international symposium. New materials of-steel and advansed technology // Ulan Bator. - MGU. - 2002. - P. 309—310.*
12. *Āónááá Á. Ī í í áñ èèèày Èí áèy. - Ī : Ī í èí àày áááðàèy, 1971. - 255 ñ.*
13. *Bardet W.E., Stanners Y.F. The Delhi pillar a study of the corrosion aspects // Journal of Iron and Steel of Institute Japan. - 1963. - Vol. 201. -<sup>1</sup> 1. - P. 8-10.*
14. *Āóðáâ÷ ð .Ā. Óðááá Ī .Ð. Êàì ù ø áá ĀÈ. è áð. Ðàçðááí òèà òáðí í èí -áèè ýèáèððí ñòàèáí èááèèüí í áñ í áðáááèàòáèèèí áñèí áñ ÷óáóí à á ĩ ðè-ðí áí í èááèðí ááí í óþ ñòàèü 10ÓÍ ĀĪ // Èçá. áóçí á. ×áðí ày ì àòàèèòóð-áèy. - 1975. -<sup>1</sup> 8.- Ñ. 27-31.*



15. Êî ë÷èí Á.À. Òãõí èèà í áðãáí òèè ì àðàèèà â äðãáí áé Ðóñè. - Ì .: Ñóáí - ðí ì àèç, 1953. - 284 ñ.
16. Ñè ñèí Ò.Ò Ñí âðãí áí í àÿ ì àðàèèóðãèÿ / Ì ãð. ñ àí æè. - Ì .: Ì àðàèèóðãèçãàð, 1946. - Ñ. 49-50.
17. Ì àçáí èí Í.À. Ãáí òñí àí // Ì àðàèèóðãà - 1972. - <sup>1</sup> 7. - Ñ. 45-46.
18. Ø àãõí â Á.Í. Èèòí é áóèàð // Óðàèüñèè é òãõí èè. - 1924. - <sup>1</sup> 3. - Ñ. 27-29.
19. Ø àãõí â Ã.Ã. Ñòàèàèèèòãéí ù é ì àñòãð Ì.Í. Ø àãõí â // Áí ì ðí ñú àñòãð-ñòáí çí àí èÿ è òãõí èèè. - 1957. - Áú ì .5. - Ñ. 190-193.
20. Áãðçèí Ý.Æèèçí àÿ ðãáí èð òèÿ // Çí àí èà - ñèèà. - 1976. - <sup>1</sup> 8. - Ñ. 23-26.

# СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Век железа .....	3
Глава 2. Чугун .....	6
Глава 3. Загадка железной колонны в Дели .....	8
Глава 4. Мечи самураев .....	11
Глава 5. Доменный процесс .....	13
Глава 6. Производство стали в Средней Азии в IX-XIII веках .	15
Глава 7. Кольчуга из арсенала Тамерлана .....	22
Глава 8. Вутц – лучший булат древности .....	26
Глава 9. Харалужные мечи .....	30
Глава 10. Технический переворот в металлургии в конце XVIII - начале XIX века .....	34
Глава 11. Завершение технического переворота в металлургии в начале XIX века .....	37
Глава 12. В Индию с железом .....	39
Глава 13. Тигельный процесс в Европе .....	43
Глава 14. Легированная сталь .....	45
Глава 15. Павел Петрович Аносов .....	48
Глава 16. Последний умелец из династии Швецовых .....	58
Глава 17. Секрет Катав-Ивановской рельсовой стали .....	61
Глава 18. Нержавеющая сталь .....	66
Глава 19. Генерал от металлургии .....	70
Глава 20. Железо режет алмаз .....	73
Словарь металлургических терминов .....	76
Список литературы .....	79

Научно-популярное издание

Гуревич Юрий Григорьевич

**ОЧЕРКИ  
ПО ИСТОРИИ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА И СТАЛИ**

Монография

Редактор Н.М. Быкова  
Технический редактор Ю.Г. Гуревич

---

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. №1
Печать трафаретная	Усл. п. л. 5,13	Уч.-изд л. 5,13
Заказ	Тираж	Цена свободная

---

Редакционно-издательский центр КГУ.  
640669 г. Курган, ул. Гоголя, 25.  
Курганский государственный университет.