

Фото 1. Узоры сварочного булата. Увеличение в 2—4 раза

Фото 2. «Сплавок» булата

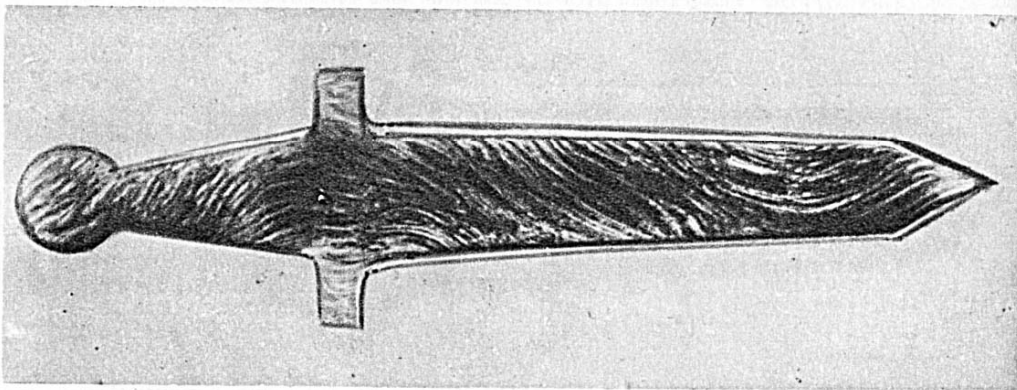


Фото 3. «Кинжал из дамасской стали». Фон — узоры лезвия клинка при увеличении в 8 раз. Фотография из книги С и с к о Ф. Т. Современная металлургия (Пер. с англ.). М., Металлургиздат, 1946, с. 49—50

Фото 4. Булатный клинок (снимок из архива Златоустовского завода)

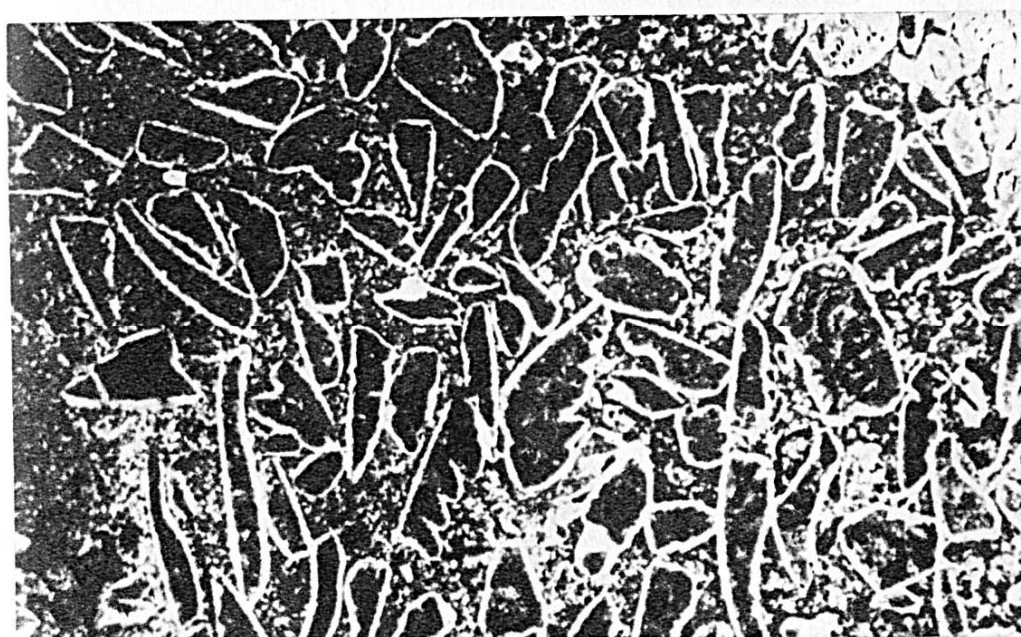
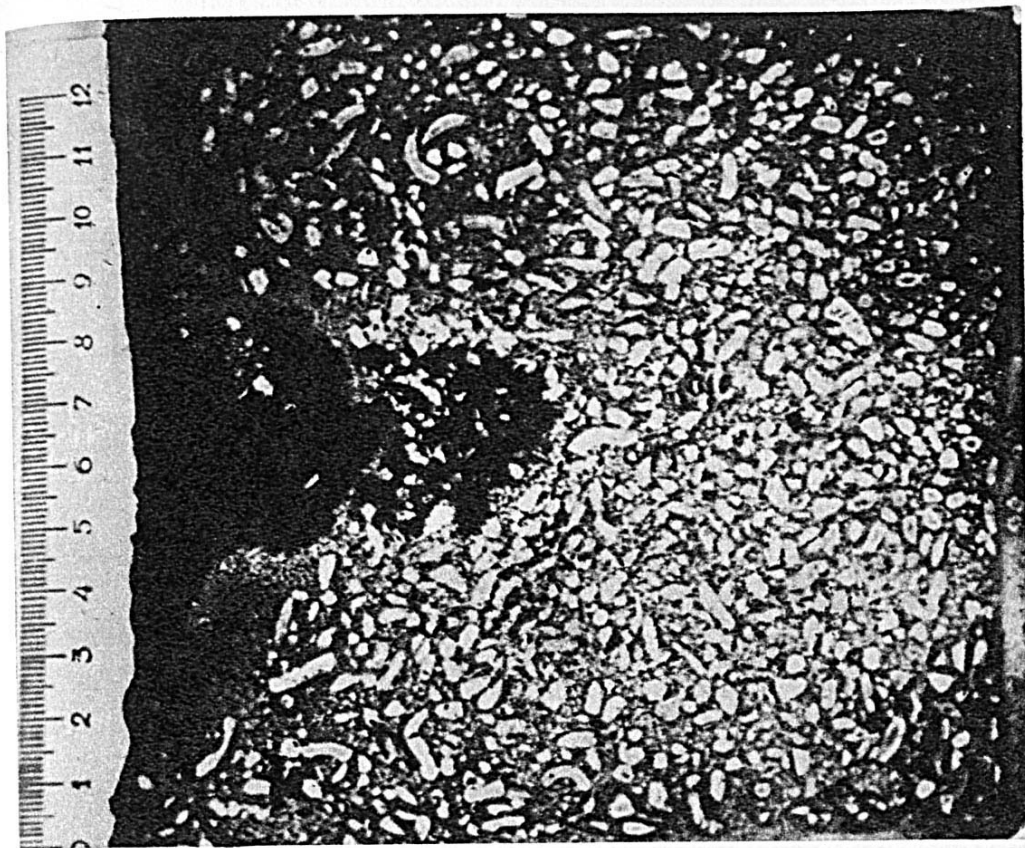


Фото 5. Макроструктура слитка булата с ферритными прослойками

Фото 6. Макроструктура слитка булата с углеродистыми прослойками

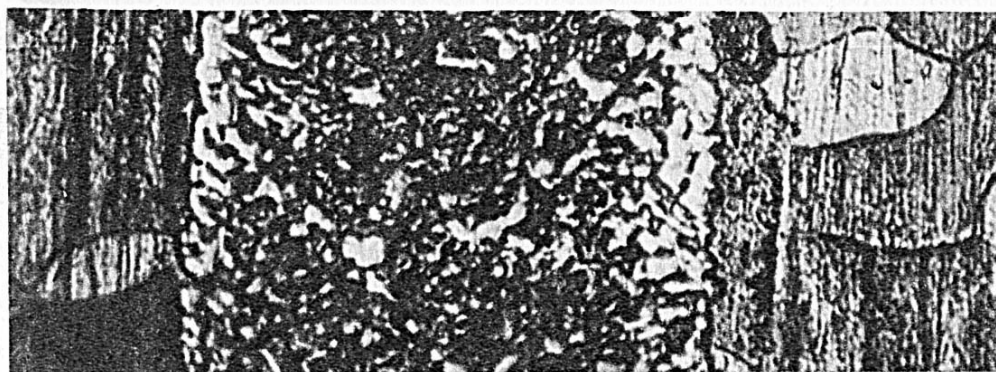
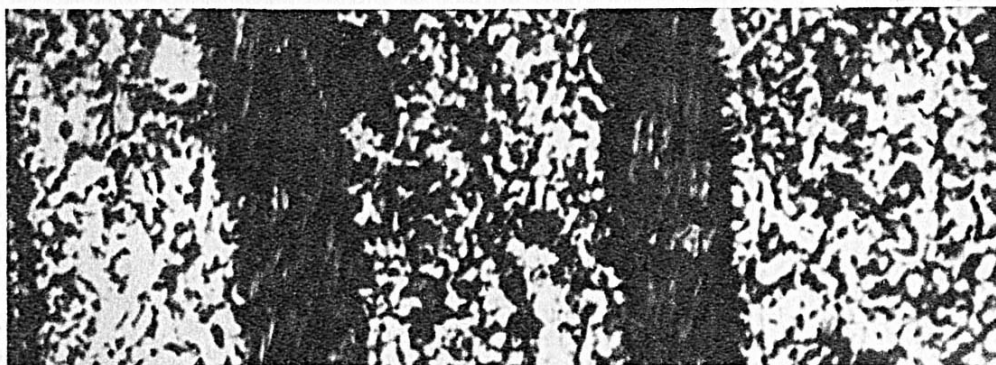
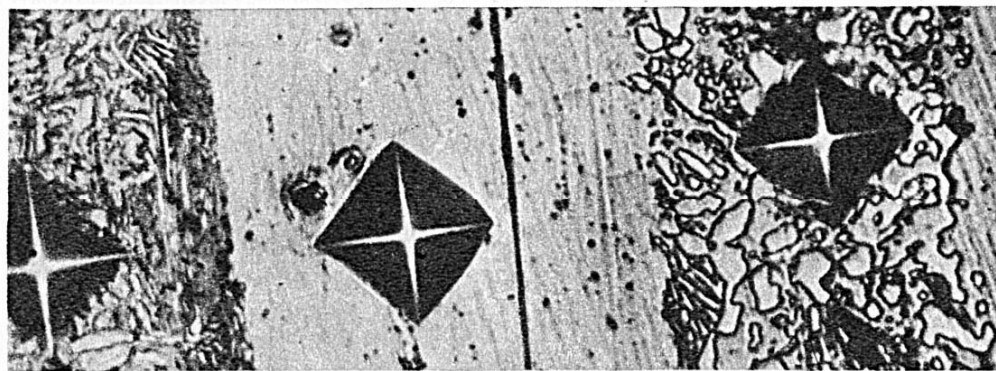
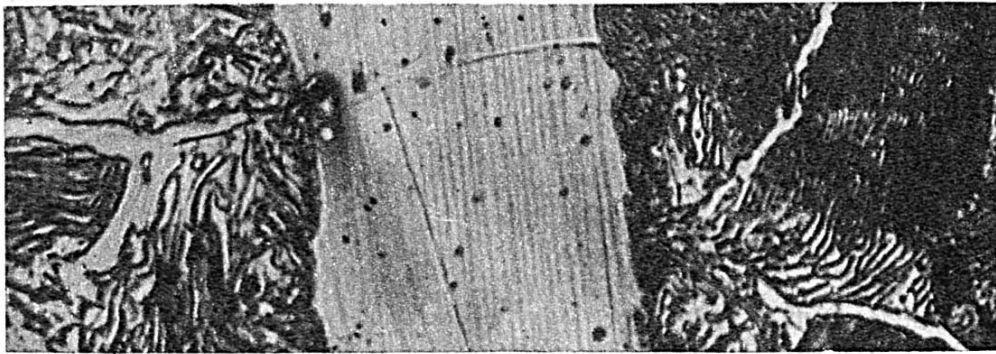


Фото 12. Микроструктура булата после отжига при 850—860 °С, выдержка 2 часа, охлаждение со скоростью 1° в минуту:
а — чередование перлитных и ферритных зон; *б* — чередование трех зон с различным содержанием углерода; *в* — монокристаллические карбидные участки на границе с ферритом; *г* — чередование перлитных и феррито-перлитных зон.

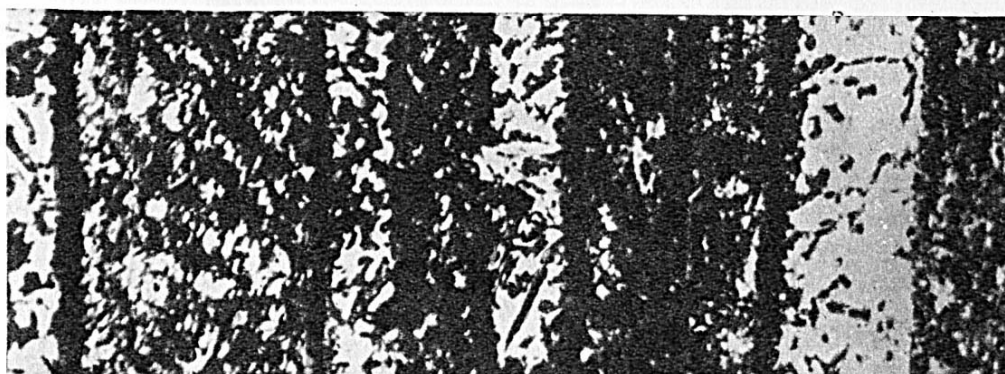
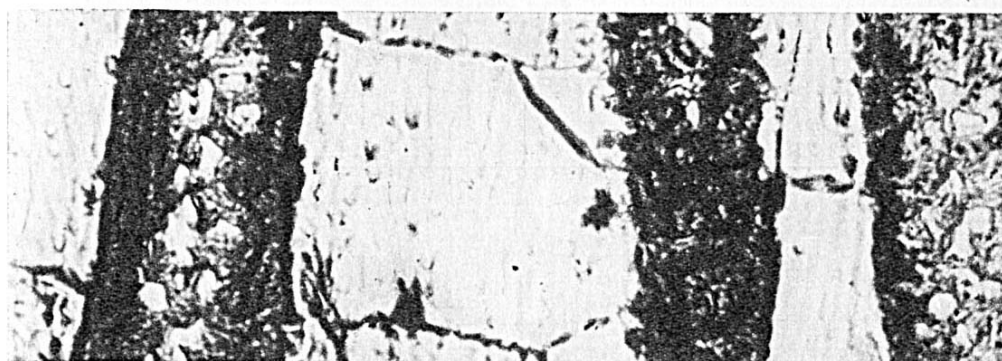


Фото 13. Микроструктура булата после закалки:
a — скопление карбидов на границе феррита и мартенсита; *б* — чередование зон феррита и мелкоигольчатого мартенсита; *в* — выделение мартенсита на периферии ферритных зерен; *г* — чередование феррито-мартенситных и мартенситных зон

ПРЕДИСЛОВИЕ

С детских лет мы слушали легенды о булатных мечах, которыми сказочные богатыри громили своих противников. Кто не помнит увлекательно описанное Вальтером Скоттом состязание в ловкости между королем Ричардом Львиное Сердце и султаном Саладином, обладавшим клинком из булатной стали?

Булат — одна из самых интересных и загадочных страниц в истории металлургии. Мы хорошо знаем, как в древние времена делали каменные топоры, бронзовую утварь, варили железо и плавил чугун, но до нашего времени оставались нераскрытыми многие секреты производства булатного оружия.

Глубоко прятали свои секреты древние мастера, пока они не были потеряны совсем. Не одно столетие металлурги всех стран и народов пытались выплавить булатную сталь, но злополучная тайна никому не давалась. И только горному инженеру, начальнику Златоустовских заводов П.П. Аносову в 40-х годах прошлого века удалось получить булат, не уступающий по свойствам индийскому вутцу. Лучшие сорта русского булата, как две капли воды похожие на знаменитые кара-табан и хоросан с сетчатыми узорами и золотисто-красноватыми отливами на темном фоне грунта, сегодня известны всему миру.

На основе исследований производства булата П. П. Аносов разрабатывает и закладывает основы русской металлургической науки. И все-таки в первой половине прошлого столетия металлургия была больше ремеслом, чем наукой. Научно объяснить технологические особенности способа производства булата в то время было просто невозможно. Вот почему и аносовский секрет производства булатной стали не сделался достоянием металлургов.

Через сто лет, уже в наше время, златоустовские металлурги вновь попытались воскресить технологию производства булата. Сложны и длительны были эти поиски, но узорчатая сталь вновь была получена, хотя полностью повторить аносовский булат не удалось. Легендарная упругость клинков достигнута не была, но режущие свойства лезвия оказались весьма высокими для рядовой углеродистой стали, которую представляет собой булат. Исследование макро- и микроструктуры булатной стали и методов ее получения с позиций современной науки приоткрыло завесу над вековой тайной булата и сделало возможным многократно повторять технологию его выплавки, если в этом есть необходимость.

Однако технология получения узорчатой стали не исчерпывает полностью секретов булата. Булат — высокоуглеродистая сталь, почти лишенная вредных примесей и неметаллических включений, оригинальными способами деформированная и термически обработанная. Булатное холодное оружие искусно отделявалось и тщательно полировалось. Многие «тайны»ковки, термообработки и отделки булата сегодня известны, другие ждут еще своей расшифровки.

Не проходит года, чтобы в периодической печати не появлялись новые сведения о булате. Написано о нем много, но систематизированного исследования структуры, свойств и основных особенностей производства

булатной стали до сих пор не было. В предлагаемой книге впервые сделана попытка обобщить весь имеющийся в литературе материал о булатной стали.

Заслуга автора состоит еще и в том, что его книга, содержащая серьезную информацию научно-технического характера, доступна для широкого круга читателей. Она включает огромный фактический исторический материал, в ней приведено большое количество малоизвестных фактов. Это позволяет автору, сохраняя историческую последовательность изложения, вовлечь читателя в круг загадочных и романтических явлений, связанных с узорчатой сталью.

Книга не случайно включает описание современных методов получения изделий из порошковых и композиционных материалов. Еще в X веке арабы применили типично порошковую технологию для получения знаменитых клинков из дамасской стали. Прокованные стальные крицы* превращались в опилки, которые ржавели при вылёживании. Взаимодействие железных опилок с кислородом атмосферы приводило также к окислению примесей железа. Полученный порошок снова подвергался горячей ковке, и такая обработка повторялась до тех пор, пока вредные примеси не оказывались хорошо измельченными и равномерно распределенными в объеме стали, а содержание углерода становилось достаточно низким.

Таким образом, уже в давние времена производство высококачественной стали было тесно связано с методами порошковой металлургии. Полученная этим методом сталь обладала высокими свойствами, сравнимыми со свойствами булата, что объясняется тонким диспергированием и спеканием частиц стального порошка, имеющих разное содержание углерода.

С другой стороны, булат в современном понимании является первым композиционным материалом, сочетающим в себе пластичность железа и прочность углеродистой стали. Строение булата дает повод современной технологии производства композиционных материалов для многих заимствований. То, чего древние металлурги добились случайно, а П.П. Аносов достиг талантом и упорным трудом, сегодня используется для получения материалов с удивительными, подчас фантастическими свойствами. Вот почему основы порошковой металлургии, изложенные автором этой книги в доступной форме, не только расширяют кругозор читателей, но и, главное, отражают диалектику развития науки о металлах, вплоть до наших дней.

Можно надеяться, что предлагаемая повесть о булате, порошковой металлургии и современных композиционных материалах с интересом будет воспринята не только металлургами, но и людьми, далекими от этой профессии.

В. И. ТРЕФИЛОВ, вице-президент АН УССР,

*Здесь и далее см. Словарь металлургических терминов в конце книги.

ПРОЛОГ

Грустно сознавать, что современная наука не вооружена еще настолько, чтобы ясно и определенно ответить на вопросы что такое булат с его непременным спутником - узором и чем, собственно, объясняются те высокие механические свойства, какими обладают изделия, изготовленные из булата.

Беляев Н И О булате — Журнал Русского металлургического общества, Спб, 1911

ВОЛШЕБНЫЕ РЕЛЬСЫ

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 стали ставить бревенчатые четырехстенные дома. По всему было видно, что 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 зять его 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 «железнодородействующий» завод производил уже чугун и кричное железо.

17 августа 1757 года Берг-коллегия слушала выписки по прошениям сибирского купца и медных заводов её держателя Ивана Твердышева и

компанейщика его Ивана Мясникова о построении ими в Оренбургской губернии, внутри Башкирии — на речке 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 железоводействующий доменный и молотовый завод Берг-коллегией завести позволено...»

Хоть и назывался Катав-Ивановский завод «железоводействующим», но являлся он, по сути дела, заводом чугуноплавильным. Только одна пятая часть чугуна перерабатывалась на железо. Переработкой основного количества получаемого чугуна занялись вскоре построенные Юрюзанский и Минский, а затем и Усть-Катавские 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, откуда открываются живописные дали, еще и сегодня 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 см². 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 нашего 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. С тех пор стальные балки Катав-Ивановской церкви начали сравнивать со златоустовским булатом.

По своим свойствам эти балки напоминали рельсы, по которым в былые времена вагонетками подавали шихту на колосники 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 Великая Отечественная война. День и ночь на заводе точили

снаряды, столь необходимые для фронта, для победы. Не хватало инструмента. И тогда вспомнили о знаменитых катавских рельсах. Их с успехом использовали для изготовления режущего сталь инструмента. В чем же секрет Катав-Ивановской стали? Может быть, это и есть знаменитый булат?

И что такое, собственно, булат? Как делались легендарные узорчатые клинки из этой стали, обладающей уникальными свойствами?

Эта книга о булате и материалах, сменивших его в наши дни. О том, как постепенно раскрывались секреты производства узорчатой стали, как они используются в современной металлургии и материаловедении. Эта книга о том, как прошлое живет в настоящем и прокладывает дорогу будущему.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПРИШЕЛЬЦЫ ИЗ ПРОШЛОГО

Всякая черта прошедшего времени, всякий
отголосок для нас любопытны, поучительны и
даже прекрасны.

В. Г. Белинский

«Белое железо» индийского царя Пора

Во второй половине I тысячелетия до нашей эры железо знали уже многие страны и народы. Из него изготовляли плуг и топор, кинжал и меч. Оружейники старались сделать кинжалы, мечи прочными и упругими, твердыми и острыми. В древности это лучше всего удавалось мастерам Индии.

В конце IV века до нашей эры Александр Македонский во главе большого войска отправился завоевывать Индию. Через Месопотамию (Ирак) и территорию современного Афганистана он проник в северо-западную часть «Страны чудес». Там на реке Гидаспу, северном притоке Инда, его поджидал со своим войском индийский царь Пор. Разыгралась кровопролитная битва, в которой индийские войска были полностью разгромлены.

Царь Пор сражался как отважный воин, он был ранен в правое, не закрытое панцирем плечо и попал в плен. К изумлению македонцев, огромный панцирь, защищавший тело царя, совершенно не был поврежден стрелами и дротиками, на нем не было обнаружено ни царапин, ни вмятин. Он был сделан из необыкновенного по крепости и твердости железа. Из подобного железа были изготовлены и широкие индийские мечи, длиной «не меньше трех локтей», которые в битве воины поднимали для удара двумя руками. Эти мечи легко рассекали пополам македонское железо. По свидетельству историков, древнее европейское железное оружие было настолько мягкое, что после двух-трех ударов уже гнулось, и воины вынуждены были отходить, чтобы выпрямить клинок. Естественно, что индийские мечи для македонцев казались чудом...

Но еще больше досаждало им неведомое, страшное оружие, которое индийцы называли «чакра». Оно представляло собой тяжелое плоское стальное кольцо, похожее на бублик с плоской внешней кромкой. Кромка эта заточена до остроты лезвия бритвы. Индийский воин раскручивал чакру на двух пальцах и швырял во врага. Вращаясь со страшной скоростью в горизонтальной плоскости на уровне шеи, чакра срезала головы македонцев, как коса головки цветов. Так европейцы впервые встретились с необыкновенной индийской сталью, которая впоследствии стала широко известна в странах Ближнего Востока и Европы.

Задолго до описанного события с Гималайских гор в Пенджаб (древнейшее княжество в Индии) спустилась каста кузнецов, хорошо знающих железное дело и умеющих изготовлять железное оружие с необычайными для того времени свойствами. Из Пенджаба индийское железо и способы его обработки

распространились в Сиам и Японию.

Аристотель упоминает индийскую сталь, называя ее «феррум-кандидум» («белое железо»). «Белое железо» очень высоко ценилось и продавалось в виде небольших круглых лепешек, разрезанных пополам. Такие половинки позже начали называть «вутцами». Вутцы хорошо ковались, обрабатывались, полировались. Из одного вутца получался один меч или кинжал.

Древние мастера тщательно скрывали секрет изготовления необыкновенного металла, передавая его своим сыновьям лишь на смертном одре. В древнеиндийских эпосах «Махабхарата» и «Рамаяна» упоминаются тяжелые железные мечи, но об их внешнем виде и свойствах ничего не сказано. Фирдоуси, Низами и Шота Руставели часто рассказывают об оружии своих героев, но ни словом не упоминают о том, где и как оно сделано.

В VII—XII веках ковались самые лучшие клинки. Но вместо способов их производства древние манускрипты оставили нам лишь рассказы об обрядах, которые обязательно предшествовали работе мастеров. Искусство оружейника, замечал известный специалист по истории оружия В. В. Арент, в древности считалось унаследованным от богов и героев. Без помощи богов мастер меча работать не мог. Он готовился к работе, как к подвигу. Только полная чистота души и тела могла обеспечить выделку идеального клинка. Молитва, абсолютное воздержание от горячительных напитков, мяса и рыбы, отдаление от жены, которой вообще было запрещено переступить порог кузницы, многократные омовения - вот не полный перечень правил, которым должен был следовать оружейник. Мастер работал в парадной одежде. Над наковальной были укреплены изображения божеств, благословляющих место высокого служения.

Кузнец начинает работу, и пять мистических элементов приходят в таинственное взаимодействие: пламя, металл, вода, дерево (уголь) и земля (глина). Месяцами, а иногда и годами длилась работа над одним клинком. Малейшее отступление от предписаний — и клинок погиб, весь этот адский труд шел прахом.

Многие народы в древности обожествляли свое оружие. В IV веке до нашей эры скифы, например, поклонялись мечу, приносили ему жертвы. У германцев было в обычае давать имя прославленному клинку. Мусульмане входили в кузницу, как в мечеть — обязательно с левой ноги.

В пантеоне абхазских языческих богов вслед за высшим богом Анувалу почитался покровитель кузнечного ремесла Шашвы. Даже после того как абхазцы стали православными христианами или мусульманами, культ Шашвы оставался в силе. Кузница считалась святилищем, а наковальня — алтарем. Если на народной сходке кого-либо подозревали в нечестном поступке, то его приводили в кузницу, где он при всех давал клятву чести. Подозреваемый брал молот, бил им по наковальне и говорил: «Клянусь этой святыней, если я виновен и, несмотря на это, произнес ложную клятву, пусть Шашвы разобьет молотом мою голову на десять частей». Кузнец у абхазцев становился жрецом Шашвы.

У других народов таинственная власть кузнеца над металлом считалась колдовством. В некоторых языках работа кузнеца называется тем же словом, что и чары. А кто-то был уверен, что здесь не обходится без нечистой силы: «Умудряет бог слепца, а черт—кузнеца».

Меч — основное оружие ближнего боя, которое употреблялось в древности и в средние века. Он состоял из клинка, имеющего одно или два лезвия, и рукоять. Рукоять почти всегда отделялась от клинка перекрестьем и оканчивалась навершием. Обычная длина меча 80—100 см, ширина клинка у перекрестья 5—6 см, а толщина около 4 мм. Весил меч 1,2—1,8 кг. Более древние мечи имели ровный широкий клинок, закругленный к концу, и являлись только рубящим оружием. Мечи X—XII веков с заостренными концами и слегка сужающимися книзу клинками имели значение не только рубящего, но и колющего оружия, поэтому вдоль полотна на обеих поверхностях клинка делались доли (желобки). Они уменьшали вес меча и придавали сечению клинка форму, способствующую проникновению лезвия в тело. Дол занимал от одной третьей до одной второй ширины клинка.

Упоминание о мече как о колющем и рубящем оружии часто встречается в древней литературе. Так, Фирдоуси в «Шах-Наме», рассказывая о пятом подвиге Исфандиара, пишет:

И грудь Симурга те мечи пронзили,

И крови бурные ключи забили.

В более позднее время в связи с ростом конного войска меч вытесняется палашом и саблей. Палаш - тип холодного оружия, наиболее близкий к мечу. Клинки палашей сначала делались также широкими, обоюдоострыми, а позднее - однолезвийными, с обухом. Хорошо сохранился палаш князя Михаила Васильевича Скопина-Шуйского (конец XVI —начало XVII века), который относят к самым ранним. Клинок палаша прямой, обоюдоострый, гладкий. Рукоять наклонная, крестовина с опущенными к лезвиям концами имеет еще перекрестье.

Сабля являлась самым распространенным видом рубящего и колющего холодного оружия. На Руси сабля стала известна гораздо раньше, чем ее узнала Западная Европа, где до XV века включительно главным холодным оружием оставался меч. Сабля имела преимущество перед мечом в том, что ее клинок изогнутой формы обеспечивал большую площадь поражения.

Клинки мечей и сабель делались из железа или стали. Перекрестье, навершия и рукояти украшались бронзой, серебром, золотом и драгоценными камнями. Но не в украшениях была главная ценность оружия, а в качестве железа, из которого оно было сделано. Как следует из одного документа VI века, король остготов Теодорих Великий, благодаря вождя гварнеров Тразамунда за присланные мечи, утверждал, что «мечи эти разрубают даже доспехи и более дороги качеством железа, чем ценностью золота». Недаром древняя русская поговорка гласит: «При рати железо дороже золота».

В начале второго тысячелетия в Индии побывал выдающийся ученый

Хорезма Аль-Бируни (973—1048). Производством лучших сортов вутца славился в то время город Герат, расположенный на северо-западе нынешнего Афганистана. Аль-Бируни был удивлен чрезвычайно высокой стоимостью мечей из индийской стали. Если на таком мече были изображены животные или деревья, то стоимость меча была равна стоимости хорошего слона; если же на нем был изображен человек, то стоимость меча была еще выше. За такой меч давали табуны лошадей, горсть золота и даже «полцарства», и древние считали, что меч этого стоит.

В более поздние времена оружие из индийской стали тоже стоило очень дорого. Известно, например, что эмир Синдского княжества в Индии владел индийской саблей, которую он отказался продать за 900 фунтов стерлингов, что соответствует примерно 9000 рублей золотом.

«Никогда не будет народа, который лучше разбирался бы в отдельных видах мечей и в их названиях, чем жители Индии!»—писал Аль-Бируни. Он также поведал, что клинки в Индии делались разных цветов. Мечи, например, изготавливались зелеными, синими, могли они и иметь узор, напоминающий рисунок на ткани. Индийская сталь отличалась узорами, которые хорошо были видны на клинке.

А свойствами клинки обладали действительно удивительными. Будучи твердыми и прочными, они одновременно обладали большой упругостью и вязкостью. Клинки перерубали железные гвозди и в то же время свободно сгибались в дугу. Нет ничего удивительного в том, что индийские мечи крошили европейские, которые в древности часто делались из недостаточно упругих и мягких низкоуглеродистых сортов стали.

Лезвие индийского клинка после заточки приобретало необыкновенно высокие режущие способности. Хороший клинок легко перерезал в воздухе газовый платок, в то время как даже современные клинки из самой лучшей стали могут перерезать только плотные виды шелковых тканей. Правда, и обычный стальной клинок можно закалить до твердости вутца, но он будет хрупким, как стекло, и разлетится на куски при первом же ударе. Поэтому позднее, когда европейские сабли начали изготавливать из прочных и твердых сортов углеродистых сталей, они ломались при ударе индийского оружия.

Длительное время не было холодного оружия, которое могло бы конкурировать с индийским вутцом. Недаром долго бытовала поговорка: «В Индию с железом», подобно тому, как позднее говорили: «В Тулу со своим самоваром».

Узорчатая сталь

После похода Александра Македонского индийские способы производства вутца — а в древности «Индией» в Европе называли все азиатские страны за Гималаями— распространяются в Сирию, Аравию и другие области Средней Азии. Крупнейшим центром производства индийской стали и оружия из нее становится город Дамаск (Сирия), куда македонцы вывозили всех мастеров, которых только могли найти в странах Востока. Из Дамаска через Персию

(Иран) вутцы доставлялись в Европу.

В Иране железо знали давно и называли его «пулад». В Индии железный век начался только на рубеже VIII и VII веков до нашей эры; между тем на Переднем Востоке и в Закавказье переход к массовому железнному производству произошел на 400—500 лет раньше. Одни из железоделательных центров здесь охватывал части современных Турции, Армении, Грузии и Ирана. В XII—XI веках до нашей эры в этом районе находилась древняя страна Пулуади. По мнению академика АН Грузинской ССР Г. А. Меликишвили, с нею связаны названия стали в ряде восточных языков. Отсюда и второе название индийского вутца — «пулад». От этого слова исходит русское слово «булат», которое и закрепилось за индийской сталью. Мечи, кинжалы, сабли и ножи из нее часто называли «булатами».

Булат различали с давних пор по ряду внешних признаков. При оценке качества булатного оружия большую роль играл рисунок на клинке. В узоре имели значение форма, величина и цвет основного металла (фона).

По форме узор подразделяли на полосатый, струйчатый, волнистый, сетчатый и коленчатый. Полосатый узор состоял из прямых линий, почти параллельных между собой. Булат с таким узором ценился менее всего. Когда между прямыми линиями попадались изогнутые, узор называли струйчатым — это был признак более высокого качества булата. Изогнутые линии составляли основу узора волнистого булата. А если прямые линии были очень короткими, а изогнутые сплетались в пряди, которые располагались между прямыми, булат называли сетчатым. Волнистые и сетчатые узоры гарантировали булату высокое качество. Но еще выше ценился коленчатый булат. Узор на таком клинке располагался во всю его ширину также прядями, но в виде поперечных поясков, непрерывно повторяющихся по всей длине клинка,

По величине узор делили на три вида: крупный, средний и мелкий. Крупный узор достигал 10—12 мм, величину его сравнивали с нотными знаками. Он был признаком булата высшего качества. Средним называли узор, соответствующий буквам в рукописи того времени (4—6 мм). Если узор был совсем мелким (1—2 мм), но все же заметен невооруженным глазом, то это указывало на то, что сталь булатная, но качество ее невысокое.

Узор всегда был светлее фона, или грунта, как тогда его называли. По грунту различали три рода булатов: серые, бурые и черные. Сам узор мог быть белым или светло-серым, блестящим или матовым. Чем темнее грунт и чем выпуклее и белее на нем узор, тем больше ценился булат. Знатоки еще отличали булаты по отливу грунта при отражении клинком падающих на него лучей света. Одни булаты совсем не имели отлива, другие отливали красноватым или золотистым цветом.

В древности каждый мастер, умеющий делать булат, приготавливал его по способу, только одному ему известному. Поэтому булаты, изготовленные в разных странах, имели и различные свойства. Поскольку булаты обычно получали название по местности, где они были изготовлены, мы сегодня можем определить, где именно умели делать узорчатую сталь. Например, сирийские

булаты нейрис и шам (Шам - турецкое название Сирии) имели мелкий полосатый более или менее прямолинейный узор, серый или бурый грунт. Они считались булатами низкого качества. К этой категории булатов относят также баяз (египетский) и белый (турецкий), хотя узор у некоторых из них мог быть струйчатым.

Булаты со средним и крупным волнистым узором, в котором преобладали кривые линии с бурым и черным грунтом, относят к булатам среднего качества. К этой категории булатов принадлежат, например, индийские булаты гынды и кум-гынды (буквально - волнистый и волнистый - индийский).

Высшие сорта персидского и индийского булата характеризовались крупным сложным рисунком, состоящим из повторяющихся групп гроздевидных фигур, принимающих разнообразные формы: клубков, мотков и прядей, формирующих сетчатые и коленчатые узоры, четко выступающие на темном грунте с золотистым отливом. К ним относились табан (буквально - блестящий), кара-табан (черный блестящий), хоросан и кара-хоросан (Хоросан - провинция в Персии). Самый лучший булат кара-табан был известен также под названием «Кирк нардубан» - «Сорок ступеней». Вдоль его клинка длиной около метра с темно-бурым или черным грунтом с золотистым отливом размещался белый коленчатый узор, состоящий примерно из 40 фрагментов — колец с поперечными прядями.

Отличали булаты и по звону. Хороший булатный клинок от легкого удара должен был издавать чистый и долгий звук. Чем выше и чище звон, тем булат лучше. В древние времена по звону покупатели могли отличить настоящий булат от подделок, которые часто неплохо имитировали внешние признаки (узор) клинка.

Испытывали булатный клинок и на упругость: его клали на голову, после чего оба конца притягивали к ушам и отпускали. Если остаточной деформации не обнаруживалось, качество клинка считалось хорошим.

Таким образом, оценка качества булатных клинков представляла собой некий ритуал: сначала подолгу изучали узор, затем, щелкнув по клинку, слушали звук, после этого проверяли его упругость и лишь в последнюю очередь, если клинок заточен, пробовали, как он рассекает тончайшую ткань. Последнее испытание состояло в том, что клинок ставили под углом и накидывали на него кусок тонкой ткани. Ткань, соскальзывая по лезвию клинка, должна была разрезаться пополам.

Считалось, что лучший булатный клинок должен обладать следующими качествами: узор его должен быть крупный сетчатый или коленчатый, белый, отчетливо выделяющийся на черном (темном) фоне, с золотистым отливом; клинок должен был издавать чистый и долгий звук; гнуться в дугу и распрямляться после этого в струнку; рубить гвозди и перерезать тонкие сорта ткани.

Основное назначение булата — изготовление клинков. Главное достоинство клинка — острота его лезвия. Лезвие булатного клинка можно было заточить до почти неправдоподобной остроты и сохранить эту остроту надолго. У

клинков из обычной углеродистой стали заостренное лезвие выкрашивается уже при заточке — как бритву, его заточить нельзя. «Бритва остра, да мечу не сестра», — гласит русская поговорка. А вот булатному клинку бритва как раз была «сестра»: его затачивали до острия бритвы, и он сохранял свои режущие свойства после того, как побывал в деле. Такое возможно лишь тогда, когда сталь обладает одновременно высокой твердостью, вязкостью и упругостью — в этом случае лезвие клинка способно самозатачиваться. В средние века всякий клинок, обладающий более или менее высокими режущими свойствами, называли булатом.

В XII веке изготовление оружия в техническом и орнаментальном отношении достигло высшей степени совершенства. Индийское оружие — мечи и кинжалы представляли собой узорчатые клинки, очень тонко полированные и украшенные орнаментами из драгоценных камней. Широко известны в это время арабские мастера, которые кочевали со своими племенами и занимались изготовлением мечей и кольчатых панцирей, отличающихся прекрасными филигранными украшениями. Персидское, йеменское и грузинское оружие отличалось особыми рисунками, насечкой, эмальированием и резьбой.

Сохранились рассказы о том, что в конце XVI века падишахом Индии из династии Великих Моголов Акбаром был устроен арсенал, достаточный для вооружения целой армии. И в этом арсенале наряду с индийскими и дамасскими булатами очень дорого ценился японский булат, изготовленный не ранее чем в XI веке. Японский булат обладал каким-то необыкновенным качеством железа, которое после целого ряда проковок приобретало высокую твердость, прочность и вязкость. Мечи и сабли, приготовленные из этого железа, отличались также необыкновенной остротой.

В литературе часто не делают различия между индийским булатом (вутцом), дамаскской сталью и японским булатом. Между тем каждый из трех методов изготовления придавал металлу особые свойства. Чтобы правильно оценить качество булата, необходимо разобраться в его разновидностях с точки зрения современной науки.

Дамасская сталь и грузинский булат

Дамаск — древнейший город на Ближнем Востоке. По преданию, его именовали «четвертым раем». На рынках города продавалось лучшее оружие, чеканка, самые дорогие ткани, редкостные пряности. В 284 - 305 годах римский император Диоклетиан повелел построить в Дамаске оружейные заводы. Это были уже не первые кузницы, где выковывалась узорчатая сталь.

Поскольку в древности оружие из индийского и сиамского железа делалось и продавалось чаще всего на базаре в Дамаске, очень трудно выяснить, какой булат делали в Дамаске, а какой в Индии. П.П. Аносов и другие историки металлургии различают старую настоящую индийскую сталь, которую называют еще «Дамаск» или «чистый Дамаск», и новую - «наварной дамаск» или «дамасскую сталь». «Чистый дамаск», так же как индийский «вутц» и

древнеперсидский "пулад", являясь литой сталью. Клинок изготавливали из цельного куска такой стали, полученного плавкой. Он имел естественные узоры. Сегодня булатом называют литею сталь, имеющую естественный узор. Только оружие, полученное путемковки литой булатной стали (лепешки, или «вутца») и имеющее естественные узоры, обладало очень высокими механическими свойствами. Именно о нем складывались легенды.

В древности, конечно, не могли знать о химическом составе булата и не умели связывать строение стали с ее свойствами. Следовательно, объяснить, почему тем или иным свойствам соответствует определенная форма булатного узора, никто не мог. Этим пользовались древние мастера. Чтобы дороже продать клинок, они стремились искусственно воспроизвести на нем узоры, свойственные хорошему булату.

Искусственные способы воспроизведения узора появились, очевидно, вначале в Дамаске. В этом городе производились знаменитые узорчатые ткани, которые еще и сейчас известны под названием «Дамаск» (во Франции— дамасье, в Голландии— дамаст). Советский исследователь А.К. Антейн не исключает возможности, что искусственную узорчатую сталь называли «дамасской» из-за сходства рисунка поверхности клинков с узорами дамасских тканей. Это подтверждается тем, что на западе до сих пор слово «дамаск» трактуют как «цветастая», или «сталь с цветным узором». Термин «дамасская сталь» получил настолько широкое распространение, что им еще и в наше время иногда неправильно называют настоящие индийские булаты. Между тем искусственный узор дамасской стали отличить от естественного булатного сравнительно нетрудно. Рисунок на дамасской стали повторяется в соседних фрагментах, как на обоях, а линии узора короче и постоянны по толщине. Встречаются простые и сложные узоры. Последние представляют собой глазки или агатовидные фигуры, состоящие из ряда замкнутых концентрических линий, напоминающих лучшие сорта литого булата (фото 1).

Существовало много способов изготовления узорчатых клинков. Например, скручивали в виде каната полосы или куски проволоки, имеющие различное содержание углерода и потому разную твердость. Такая «плетенка» проковывалась, а точнее, сваривалась под молотом после нагревания. Поскольку куски были разного состава, на клинке при травлении проявлялся узор. Варьируя способы сплетения проволоки или полос, можно было получить различные узоры на поверхности клинка.

Оружие, приготовленное этим и подобными способами, и получило название «дамасская сталь», или «наварной дамаск». Последнее время «наварной дамаск» чаще всего называют сварочным булатом. Настоящий сварочный булат отличался особенно красивым, строго повторяющимся по длине клинка, цветным извилистым узором.

Есть предположение, что способ изготовления сварочного булата мог возникнуть случайно: из-за отсутствия нового материала мастера часто сваривали старые куски железа. Это со временем и могло привести к способу получения сварных клинков.

Изобретатели холодного оружия из сварочного булата быстро обнаружили, что, хотя его качество и уступает оружию из настоящего булата, но является несравненно более высоким, чем качество клинков из обычной стали. Поэтому ножи, кинжалы и сабли из сварочного булата также ценились очень высоко. Есть сведения, что в XVIII—XIX веках сабельный клинок из сварочной дамасской стали в Хоросане стоил огромных денег— 7000—8500 имперских талеров.

Некоторые способы изготовления клинков из сварочного булата появились еще в глубокой древности. Во всяком случае они восходят к эпохе поздней Римской империи. В 1859-1863 годах около селения Нидам (Дания) вблизи побережья Альзензунда в торфяниках были обнаружены три римских корабля с грузом. Корабли, очевидно, потерпели крушение во время бури. Два из них затонули, а третий сел на песчаную отмель. Среди корабельного груза оказалось свыше ста мечей, утварь и монеты. На мечах были обнаружены римские пометки, монеты оказались динарами, выпущенными в III веке.

Исследование металла клинков мечей показало, что они имеют структуру сварочного булата, изготовленного старинными способами «наварного Дамаска». Известны три разновидности этого способа, которые отличают по узорам на клинке: полосатый дамаск, наварной дамаск и цветочный дамаск. Цветочный называют также «розовым Дамаском».

Полосатый дамаск изготавливали простой сваркой разных по твердости стальных полос, наложенных друг на друга, причем полосы с большим содержанием углерода чередовались с полосами, содержащими очень мало углерода. Угловой дамаск делали следующим образом. Брели полосу полосатого Дамаска, нагревали и скручивали под молотом, после чего сплющивали и вновь вытягивали в полосу. К полученной полосе приваривали такую же полосу, но скрученную в противоположную сторону. В результате получали рисунок, напоминающий угольник или римскую букву V, посередине которой хорошо была видна осевая линия. Сваркой двух V-образных полос получали рисунок, напоминающий букву W. К методам получения розового Дамаска мы еще вернемся.

На проржавевших обломках найденных мечей обнаружили рисунки всех перечисленных видов сварочного Дамаска. Интересно, что после того, как сняли ржавчину и рассмотрели структуру поперечного сечения мечей, обнаружили, что рисунок («дамасское переплетение») не проходит через всю массу металла. При исследовании прежде всего бросалась в глаза разница структуры дамаска на одной стороне клинка и на другой. После шлифовки, полировки и протравки кислотой поперечного сечения клинков на них появились темные прослойки — это были твердые куски стали с высоким содержанием углерода. Они были умышленно вварены в мягкую основу. Из этого следует, что при выработке мечей сначала ковался остов, а затем на него с двух сторон насаживались прокованные дамасские полосы.

Лезвия у мечей были гладкие, без рисунка, следовательно, они приваривались отдельно. На отдельных мечах лезвие представляло собой

сваренные полосы углеродистой стали и Дамаска. Таким образом, все найденные мечи отличались по качеству и структуре (рисунку) железа, использованного для лезвия и тела меча.

Химическим анализом металла римских мечей обнаружено следующее содержание элементов в стали (в процентах) : углерод—0,6; кремний—0,15; марганец— 0,363; фосфор — 0,054 и сера — 0,073. Содержание углерода от оси меча к лезвию увеличивалось.

Известны и другие способы приготовления сварочного булата. Один из них заключался в том, что полосу сваривали из 20 слоев более твердой и более мягкой стали, расположенных различным образом в зависимости от цели употребления изделия, после чего полосу перегибали и сваривали вторично 40 слоев, еще перегибали и сваривали 80 слоев, еще раз перегибали и сваривали 160 слоев, и еще раз перегибали и сваривали 320 слоев! После вытяжки из нее делали заготовки для клинка. Если такой клинок нагреть и быстро охладить, то более твердые стальные слои становятся отчетливо видны на поверхности мягкого железа, образуя характерный древовидный рисунок, Специальной ковкой, последующей шлифовкой и травкой добивались «коленчатого» узора.

В более поздние времена из сварочных булатов на Востоке особенно ценился амузгинский, представлявший собой крупнорисунчатую дамаскую сталь. Клинок изготовляли следующим образом. Брали три пластины: одну из среднеуглеродистой «крепкой» стали, так называемой «антушки», вторую - из низкоуглеродистой и «мягкой» стали («дугалалы») и третью - из высокоуглеродистой «очень крепкой» стали («альхана»). Из каждой пластины вначале выковывались тонкие полосы, после чего они сваривались. Обычно из сварочных полос выковывали четырехгранный стальной стержень, который затем вытягивался и уплощался. Из такой заготовки выходило два клинка.

Анализом способов изготовления клинков мечей из дамаской стали и узоров сварочного булата занимались многие известные металлурги у нас в стране и за рубежом. А.К. Антейн и А. Льестол (на которого Антейн ссылался в своей работе) провели широкое исследование узоров мечей из дамаской стали путем моделирования способа их приготовления на пластилине и пластинах из мягкой и твердой сталей.

Методика моделирования состоит в следующем: сначала берут три (или больше) стальные пластинки (черный пластилин), между ними прокладывают две железные пластинки (белый пластилин) такой же толщины. После этого с внешних сторон помещают две железные пластины потолще. Срезая лишний пластилин, блоку придают цилиндрическую форму и скручивают его несколько раз вокруг продольной оси. Разрезы на разных расстояниях от центра дают узоры различных видов.

Если такой крученный брусок разрезать по осевой линии, получается крестовидный узор; если разрезать ближе к краю - узор из косых линий. Из таких линий легко сделать V и W - образные узоры. Разрезы между указанными выше плоскостями дают промежуточные узоры. Один из промежуточных разрезов позволяет получить узор в виде розы: для этого сваривают два

крученых прутика с полукруглыми узорами так, чтобы из двух полукругов разных прутиков получился один круг. Подобные узоры получены также на железе и стали методомковки и скручивания (рис. 1).

Холодное оружие из дамасской стали, дошедшее до наших дней, свидетельствует о том, что в древности существовали два способа использования сварочного булата при изготовлении клинков. Первый состоял в том, что вся средняя часть клинка изготовлялась из сварочного булата, а к ней приваривалось

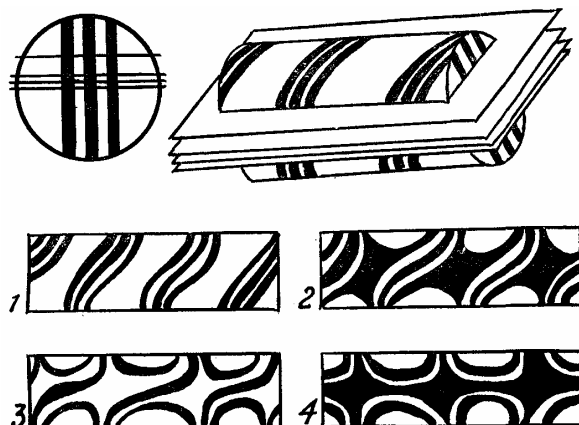


Рис. 1. Схема получения узоров сварочного булата на модели блока из трех пластин.

лезвие из углеродистой стали (0,6—0,8% углерода). При втором способе слой сварочного булата наваривался на основной металл клинка поверх дола. Клинки, сделанные по первому способу, старше. Они, как правило, относятся к IX—XI векам.

Вплоть до конца XIV века в Дамаске изготовляли лучшее оружие в мире. В 1370 году в Самарканде к власти пришел великий эмир Тимур. 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 год) Тимур покорил Сирию и взял Дамаск. Город был сожжен, а мастера, владеющие искусством изготовления оружия, были увезены в Самарканд. В этот и другие города Средней Азии переселялись десятки тысяч ремесленников из завоеванных стран.

Чтобы подорвать военную мощь 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, Турцию, Армению, Грузию, Бухару, Самарканд. С этого времени начинается широкое распространение разнообразных способов изготовления сварочного булата в Средней Азии, на Кавказе и особенно в Турции.

Поскольку донские казаки постоянно участвовали в русско-турецких войнах, их оружие претерпевало «естественный» отбор: в их вооружении оказывались наиболее стойкие сабли и шашки. В джигитовках и состязаниях выявлялись не только боевые качества всадников, но и крепость булата. Советские металлурги О. Жолондковский и И. Ильчук пишут, что на Кубани и Тереке арсенал казаков представлял такую оригинальную мозаику, такую смесь оружия всех времен и стилей, что специалисты могли только диву даваться. Часть этого оружия из литого турецкого шама, дамасского сварочного булата и лучших сортов

дамаскированной стали и ныне можно увидеть в Новочеркасском музее истории донского казачества и других музеях страны.

Основное количество сабель было отбито казаками у горцев. Это оружие изготовлено прославленными мастерами Кавказа - из местечка Кубачи, знаменитыми братьями-оружейниками Исди-Кардаш, кинжальных дел мастером Магометом Муртазалиевым.

Очень ценились уникальные шашки терс-маймуны и калдыны, называемые иногда волчками. Калдын - широкий почти прямой клинок с изображением волка на одной его стороне и круга с крестом - на другой. Терс-маймун очень похож на калдын, но бегущий зверь изображен схематично, а кресты на клинке дополняются лагинскими буквами NM, обозначающими, по-видимому, либо название местности, либо имя изготовителя. Точных сведений о происхождении этих клинков до сих пор нет.

Лучшей на Кавказе считалась шашка гурда. С ней можно было вступать в бой с противником, закованным в латы. О сказочных качествах гурды красноречиво рассказывает старинная легенда: «Один горец научился ковать чудо-шашку. Но вот прослышал он, что живет на свете другой такой же мастер. Захотелось ему испытать, чей клинок крепче. Встретились кузнецы, выхватил шашки. «Смотри, «гурда»,— крикнул первый,— и ударил по шашке соперника. Перерубил булат, а вместе с ним и мастера». Гурда до нас дошла лишь в отдельных экземплярах и сегодня является музейной редкостью.

Не меньшей славой пользовалось оружие старого Калмыцкого мастера Басалая и его многочисленных потомков в Дагестане. Изготовленные ими кинжалы так и назывались «басалаи». Утверждали, что их лезвием можно было высечь из камня искру, а потом побриться.

Необычный сварочный булат 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 мягче и мягче.

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

«Если закаленную поверхность плиты легко пробить 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 для того ли, чтобы пробивать стальные латы противника древние кузнецы нашивали мягкую полоску стали на закаленное очень твердое лезвие средневекового меча?

Широко известен грузинский сварочный булат. По мнению П.П. Аносова, он близок к индийскому и дамасскому. Павел Петрович считал, что лучшие сварочные булаты делали в Индии, Турции, Сирии и Персии (Иране). Их, возможно, начинали готовить мастера, знакомые с выделкой настоящего литого булата. Традиции приготовления булата в Грузии были непосредственно связаны с производством оружия в Индии и странах Ближнего Востока.

Как уже было отмечено, холодное оружие делали главным образом в горной части Грузии, но сварочный булат умели делать лишь в нескольких городах. Оружие тифлиского производства славилось далеко за пределами Кавказа. Есть сведения, что в XVIII веке горским народам Кавказа и Ирана сабли и кинжалы поставлялись из Тифлиса. В XIX веке Тифлис продолжает оставаться центром изготовления оружия из сварочного булата. Это хорошо известно А. С. Пушкину, который писал, что тифлисское оружие дорого ценится на всем Востоке.

Десятилетия славилась своим булатом семья Элиазаровичи. Исследователь истории производства стали в Грузии К. К. Чолокашвили установил, «что эта семья секрет изготовления булата унаследовала от предков». Но особенно популярным был мастер булатного оружия Георгий Элиазаровичи, которого упоминает даже М. Ю. Лермонтов в одном из вариантов стихотворения «Поэт»:

В серебряных ножнах блистает мой
кинжал, Геурга старого изделия.

Булат его хранит таинственный закал,
Для нас давно утраченное зелье.

Сын Георгия — Карамон Элиазаровичи продолжил дело отца. Он знал, что в былые времена грузинские мастера изготавливали булатные клинки из индийского железа — вутца. Карамон объясняет: «Вутц — слиток стали в виде толстой лепешки. Одни полагали, что это смесь стали и железа, другие — железа и чистого графита, а третьи — что это «особая сталь».

Но вутца давным-давно нет, и Карамон Элиазаровичи делает булатное оружие из грузинских подков, опилок из турецкой стали, чугуна и полос сварочного железа. «Се же оружие из грузинского булата обладало столь высоким качеством, что при испытании клинков ими отсекали одним ударом голову быка или коровы.» Правда, как правильно заметил П.П. Аносов, для такой работы, кроме качества клинка, еще требовалась сила его обладателя...

Известный историк кавказских походов русский генерал В. Патто писал в XIX столетии: «Безусловно, русские кавалеристы за счет своей отваги и богатырской силы успешно противостоят восточным конникам, но крепость и острота ятаганов и шашек, сделанных из дамасской стали, значительно превосходят крепость сабель наших солдат. Для того чтобы успешно владеть настоящим булатным клинком, не нужна особая физическая сила он страшен

даже в руках ребенка».

Итак, к началу XIX века русская армия, считавшая одной из сильнейших в мире, не имела на вооружении хороших клинков. Необходимо было обратить серьезное внимание на производство холодного оружия в России. Начальник оружейных заводов и министр финансов Е.Ф. Канкрин поручил организовать изготовление булатных клинков. Обратились к Элиазаровичи, искусство которого было широко известно. Сохранились сведения, что Карамон Элиазаровичи в 1828 году раскрыл рецепт изготовления грузинской сабельной стали. К. К. Чолокашвили нашел этот рецепт в старых «Актах Кавказской архивной компании». Позволю себе привести его целиком — из этого описания даже неспециалисту ясно, как непрост был метод.

«Для одной сабли или шашки взять 5 фунтов полосового железа, положить в кузнечный горн, в котором довести его до такой степени (т. е. раскалить), чтобы можно было разрубить на три части по длине полосы, после чего перерубить каждую часть на два куска, из чего образуется 6 равных частей, длиною каждая в четверть аршина. Потом взять два фунта стали, вываренной и, сырцовой, положить также в ковш, раскалив ее так, что бы можно было разрубить оную на три части по длине полосы, равные по величине железным частям.

Затем, взяв два куска означенного выше железа, вложив в них один кусок прописанной стали, сварить песком и обыкновенным порядком тоже с прочими железными частями и сталью. Когда таким образом железо со сталью сварено, должно выковать сваренный кусок длиною вдвое, т. е. в пол-аршина, шириною в три четверти вершка и толщиною в одну восьмую вершка. Потом каждый сей кусок, раскалив в горне, обсыпать сверху и снизу посредством железной лопатки, толченым чугуном (который должен быть приготовлен наперед подобно песку). Всего же потребно чугуна из 6 кусков, означенного выше железа один фунт. После сего выковать вновь каждый кусок вдвое, т. е. в один аршин длиною, шириною в полвершка. Окончив, согнуть каждый кусок 5 раз взяв оные в клещи, сварить вместе в горне с песком; потом, вытянув посредством кожи из сего материала прут длиною в пол-аршина, перерубить на две части, сварить оный с песком и, вытянув из него вновь пол-аршина, перерубить пополам. После сего вложить в середину оных полуфунтовую полосу стали, длиною и шириною подобно сим кускам перерубленного железа, сварить с песком вместе, выковать полосу, подобную сабле, но, однако, короче двумя вершками. Сию полосу должно насечь зубилом с обеих сторон, подобно крупному напильнику, потом насечку сию сточить или спилить и тогда вытянуть о произволу саблю или шашку, после чего положить в клинок, а через четверть часа, вынув и вычистив в одном каком-нибудь месте пыль, смотреть, если струя на нем кажется хороша или по желанию, тогда вычистить тем же самым из пыли порошком и употреблять».

Известно, что в 30-е годы XIX века в Тифлис были направлены русские ученики. В 1832 году Элиазаровичи ссылают с ними императору Николаю I сабли своего изготовления. Это оружие сейчас хранится в Эрмитаже в

Ленинграде и в Историческом музее в Москве. К. К. Чолокашвили приводит также архивные документы 1888 года, в которых указывается, что «лучшими клинками в кавалерии считались те, которые были изготовлены учениками Элиазарошвили».

Рецепт Элиазарошвили весьма похож на сохранившиеся описания производства мечей в Северной Индии с искусственно науглероженной поверхностью. Полосу обычного кричного железа многократно обсыпали чугунными опилками, а затем последующей многократной проковкой при «сварочном жаре» создавали на ней нацементированную поверхность. Такие клинки обладали острым лезвием, имели некоторую продольную упругость и вязкость. Они уступали по качеству только булату...

Приведенные сведения о сварочном булате — наиболее поздние. К концу XIX века в мире уже почти не делали холодное оружие из сварочного булата. Секрет его производства был вскоре окончательно утерян. Интересно, что в эти времена и в Индии, и в Дамаске изготавливали холодное оружие из обычных сортов английской или шведской стали.

Производство сварочного булата было самостоятельным промыслом со своими секретами и традициями. Очень трудно сварить полосы или проволоки разнородной стали в один цельный кусок, получить определенный узор, да еще обеспечить твердость, гибкость и остроту выкованному клинку. Дело в том, что после нагрева в горне полосы стали или проволоки поверхность металла окисляется, и пленка окислов препятствует его сварке. Чтобы сварка происходила, надо очень точно выдерживать температуру и удалять окислы с поверхности стали. Способы удаления окислов, температура сварки, скоростьковки, порядок соединения полос с различным содержанием углерода и составляли, очевидно, главные секреты мастеров, делавших оружие из сварочного булата.

Недаром в имеющихся описаниях изготовления амизгинского сварочного Дамаска обычно говорится, что, когда наступала пора сваривать пластины, мастер выгонял всех из кузницы, тщательно оберегая тайну порядка соединения пластин и способа их сварки. Если же мастер допускал посторонних, то применял такие приемы, которые отвлекали любопытных: совершал над полосой самые необыкновенные ритуалы, например, посыпал полосу пеплом заживо сожженного животного или другими неведомыми опилками и порошками. Между тем главный предмет тайны составляли, по всей вероятности, порошки, которые применялись для сварки в качестве флюсов.

Теперь совершенно понятно, что это были флюсы, которые, с одной стороны, имели достаточно низкую температуру плавления, были жидкотекучи и легко выдавливались под молотом, а с другой — быстро растворяли окислы железа, обнажая чистую поверхность металла, необходимую для сварки. Мастера использовали разные флюсующие порошки, но каждый свято хранил в секрете состав «каменной», им применяемый. Поэтому, возможно, и в рецепте Элиазарошвили нет самого главного — состава флюса для сварки полос.

Мастер подробнейшим образом рассказывает о порядке сварки полос, а флюс упоминает между прочим, называет его песком, не открывая секрета его состава и способа приготовления.

В Западной Европе до XV—XVI веков не знали о существовании литого булата. Поэтому возникающие здесь центры по изготовлению холодного оружия старались использовать секреты сварочного булата. Так, например, испанские оружейники заимствовали приемы производства дамасской стали у арабов, живших на Пиренейском полуострове. В Толедо, который стал одним из центров производства холодного оружия, впоследствии делали высококачественные клинки из обычной стали. Чтобы рекламировать их высокое качество, на поверхности клинка литографическим способом наносили дамасский узор. Такие клинки специалисты называют «ложными булатами»

Особенно широко развернулось производство подделок под булат в XVIII—XIX веках. В это время в Европе научились производить высокоуглеродистую литую сталь, и западноевропейские мастера, оставив попытки раскрыть секреты производства сварочного булата, начали изготавливать из нее довольно хорошее холодное оружие. В Италии (Милан), в Испании (Толедо), в Германии (Золинген), во Франции и Бельгии (Льеж), даже в Англии стали широко производить «ложный булат».

«Ложные булаты», особенно золингеновские и толедские, приобрели известность благодаря высокой степени полировки и красивым узорам, которые наносились на клинки различными методами. Ремесленники, рисующие декоративные узоры на металле, назывались «дамаскировщиками», а клинки «ложного булата» — «дамаскированными». Многие «дамаскированные» клинки были не очень высокого качества, поскольку они изготавливались из обычной шведской или английской углеродистой стали. Поверхность металла полировали, тщательно очищали от грязи и покрывали раствором специального состава в терпентиновом масле. Узоры булата выводили кистью или резцом, а потом протравливали рисунок соляной кислотой. Особенно преуспевали мастера из немецкого городка Клименталья: они получали узоры на клинках не только описанным способом, но часто его просто гравировали.

Сходство рисунков на литом булате, сварочном булате и «дамаскированной» стали нередко приводило ко всяким недоразумениям. В частности, описание личного оружия Вильгельма I, Бисмарка и Наполеона сделано таким образом, что совершенно непонятно — то ли оно изготовлено из сварочного булата, то ли из «дамаскированной» стали.

В Новочеркасске в музее истории донского казачества экспонируется сабля атамана М. И. Платова. Сабля сделана в 1814 году из лучшей английской стали в честь победы союзников в войне с Наполеоном Бонапартом. Сабля еще до Октябрьской революции была передана в музей родственниками Платова; но во время гражданской войны была украдена белогвардейцами и вывезена в Чехословакию, откуда в 1946 году со многими экспонатами старинного оружия

возвращена на родину.

На клинке сабли надпись, свидетельствующая о том, что Лондонский городской совет, заседавший 8 июня 1814 г., единогласно решает: «Сабля стоимостью 200 гиней преподносится атаману графу Платову в знак высокого уважения, которое совет питает к непревзойденному мастерству, блестящим талантам и неустрашимому мужеству, проявленному им во время длительных конфликтов, в которых он принимал участие для обеспечения свободы, мира и счастья Европы».

Есть сведения, что аналогичные сабли были преподнесены русскому полководцу М. Б. Барклаю-де-Толли и командующим союзными войсками Артуру Уэлсли Веллингтону и Герберту Лебрехту Блюхеру. Несмотря на высокую стоимость, сабля представляет собой всего лишь неплохой образец «дамаскированной» стали. На ее поверхности выгравирован рисунок, похожий на булатный узор. Подобных образцов в музеях можно найти немало, гораздо больше, чем настоящих сварочных булатов.

В нашей стране многие секреты сварочного булата стали известны благодаря работам грузинского ученого-этнографа К. К. Чолокашвили, который расшифровал ряд способов его производства. Найденный рецепт изготовления грузинского булата был им передан в Институт металлургии Академии наук Грузинской ССР, где был тщательно изучен. В результате в одном из цехов Руставского металлургического завода под руководством академика АН Грузинской ССР Ф. Тавадзе в современных условиях были получены опытные образцы сварочного булата, достаточно хорошо повторяющие узоры и свойства музейных экспонатов.

Как мы уже неоднократно замечали, в сварочном булате чередуются участки пластичного мягкого (низкоуглеродистого) железа и сравнительно твердой (углеродистой) стали - такие клинки обладали гораздо более высокой упругостью и вязкостью по сравнению с клинками из обычной углеродистой стали. А вот почему именно сварочный булат отличался высокой прочностью и дамасские сабли были значительно тверже и крепче других стальных сабель, долгое время оставалось загадкой. Лишь современная наука о металлах смогла это объяснить. Но прежде чем привести это объяснение, сделаем небольшую экскурсию в физику металлов.

В 1784 году монах Р. Гаюи выдвинул гипотезу, что кристаллы состоят из совершенно одинаковых «кирпичиков» постоянной формы.

Через 130 лет с помощью рентгеноструктурного анализа было выяснено, что металлы имеют такое же кристаллическое строение, как и минералы. Атомы металлов располагаются в пространстве определенным образом, образуя кристаллическую решетку. Кристаллическая решетка складывается из элементарных кристаллических ячеек. Кристаллической ячейкой удобно изображать расположение атомов в кристалле. Например, в кубической объемно-центрированной решетке 8 атомов расположены в каждой из вершин куба и один — на пересечении его пространственных диагоналей. В идеальной кристаллической решетке все узлы заполнены атомами, вернее, ионами, а в

междоузлиях расположен только электронный газ.

Прочность металлов определяется их атомно-кристаллической структурой. В 1926 году выдающийся советский физик Я.И. Френкель подсчитал, что прочность реальных металлов во много раз меньше теоретической. В чем же дело? Физики немало лет ломали голову над этим вопросом. Оказалось, что реальные металлические изделия состоят из большого числа кристаллов, которые имеют разную ориентацию кристаллической решетки. В таком поликристаллическом агрегате кристаллы принимают неправильную форму — их называют зернами или кристаллитами. Кусок металла, представляющий собой один кристалл, называют монокристаллом.

В отличие от строения монокристалла строение кристаллитов несовершенно, в частности из-за наличия незанятых мест в узлах кристаллической решетки — атомных «дырок», называемых вакансиями. Недостатком кристаллитов являются и дислокации. Дислокацией, буквально — смещением, в геологии называют нарушение первоначального залегания пластов земной коры, в результате которых образуется складка или сдвиг. В кристаллической решетке дислокация — это также смещение или сдвиг, приводящий к образованию лишнего ряда атомов. Дислокация образует в кристаллической решетке «лишнюю» неполную плоскость или полуплоскость, которая получила название экстраплоскости.

Многочисленные экстраплоскости не проходят через все сечение кристалла, они обрываются внутри него. Экстраплоскость образует линейный дефект решетки — краевую дислокацию. Краевая дислокация может простираться в длину на многие тысячи ячеек решетки, может быть прямой, а может, как нитка, выгибаться в ту или другую сторону. В пределе она может закрутиться в спираль, образуя винтовую дислокацию. Вокруг дислокации возникает зона упругого искажения решетки, вызванная отталкиванием дислоцированных (внедренных в междоузлия) атомов экстраплоскости.

Помните, дислокация — это «складка»? Теперь представьте себе, что нужно передвинуть по полу ковер. Тащить его за край довольно тяжело. Сделайте на ковре складку, и вы значительно облегчите его передвижение. Если ковер передвигать по полу постепенно, по мере волнообразного передвижения складки, то для его движения потребуется совсем немного усилий. В металле дислокации играют роль примерно таких же «складок». Вследствие искажения решетки в районе дислокации последняя под действием небольших напряжений легко смещается, и дислоцированные атомы занимают положенное им место в узлах кристаллической решетки. Но вслед за ними смещается соседняя плоскость атомов, занимая место дислоцированных, то есть превращаясь в экстраплоскость и вновь образуя краевую дислокацию.

Что же заставляет дислокацию перемещаться? Оказывается, ее «толкают» атомы, расположенные непосредственно за ней. У них в результате искажения решетки появляется избыточная энергия, и чтобы избавиться от нее и занять новое стабильное положение, они сталкивают дислокацию на новое место. Поскольку дислокация испытывает давление с обеих сторон, суммарное

воздействие на нее равно нулю. Поэтому «толкачи» начинают работать лишь тогда, когда они сами испытывают давление от внешних сил.

Таким образом, дислокации могут сравнительно легко перемещаться под действием небольших напряжений. Это значит, что реальные металлы и сплавы деформируются постепенно за счет небольших смещений атомных слоев в области дислокации. Говорят, что движение дислокации напоминает движение гусеницы. При движении лишь у ограниченного количества атомов нарушаются связи.

Механизм деформации идеального кристалла состоит в сдвиге одних атомных плоскостей относительно других. Для такого сдвига требуются значительные усилия — этим и объясняется высокая теоретическая прочность монокристаллов по сравнению с поликристаллами реальных металлов и сплавов.

Пока под влиянием приложенной к металлу силы движутся дислокации, сопротивление металла деформации невелико. Раз так, то и прочность металла небольшая. А если движение дислокации затруднено, если поставленный им заслон вообще мешает им перемещаться? Скажется ли это на прочности металла? Да, конечно, металл в этом случае будет тяжелее поддаваться деформации, и прочность его возрастет. Следовательно, для повышения прочности металла необходимо либо устранить дислокации вообще, либо повысить сопротивление их перемещению.

При деформации дислокации движутся подобно нитке — они способны изгибаться, цепляться за препятствия, образовывать клубки и даже уничтожать друг друга. В клубках плотность дислокации достигает значительной величины, им становится очень трудно перемещаться. Значит, образование клубков дислокации приводит к упрочнению металла или сплава.

Но где взять ту преграду, которая остановит движение дислокации? Оказывается, такое препятствие можно найти, и даже не одно. Существует несколько способов торможения дислокации. Один из них — уменьшение размеров зерен. Границы зерна являются препятствиями для перемещения дислокации. Добавление в кристаллическую решетку атомов других элементов также приводит к торможению дислокации. Чужеродные атомы окружают дефекты, блокируют их, не дают возможности дислокациям перемещаться. Теперь хорошо известно, что легирование стали хромом, вольфрамом, марганцем, ванадием и другими легирующими элементами значительно повышает ее прочность. Прочность легированной стали намного выше прочности булата.

Препятствием для перемещения дислокации являются также любые искажения кристаллической решетки и «инородные» включения, соизмеримые с кристаллическими ячейками. В качестве таких упрочнителей применяют высокодисперсные карбиды, нитриды, окислы, интерметаллиды. Стали и сплавы, изготовленные таким образом, обладают чрезвычайно высокой прочностью. Самый простой способ упрочнения металла — это пластическая деформация. С увеличением степени деформации растет количество

дислокации и уменьшается их подвижность. Это приводит к увеличению плотности дислокации.

Итак, прочность металла повышается в двух случаях: когда в кристаллической решетке совершенно нет дефектов или когда плотность дислокации достаточно большая. Конечно, увеличение плотности дислокации ведет к упрочнению металла до определенного предела. При слишком большой плотности дислокации образуются микроскопические трещины и металл разрушается.

Так вот, сварочный булат отличался высокой прочностью, значительно превышающей прочность стали такого же состава, потому что степень деформации при сварке стальных полос или проволоки с различным содержанием углерода была колоссальной. Не так давно металловеды сделали рентгеноструктурный анализ сварочного булата. Рентгенограммы показали, что из кристаллов металла выпали чуть ли не целые группы атомов — так велика у него оказалась плотность дислокации. Таким образом, древние кузнецы эмпирически нашли способ приготовления очень прочного оружия. И не случайно сварочный булат (дамасская сталь) ценился не только за свои красивые цветные узоры.

Японский булат и колонна в Дели

Японский булат обладал каким-то необыкновенным качеством железа, которое после целого ряда проковок приобретало даже 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 изготовлено японское оружие XI—XIII веков. 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, увеличивающие твердость и прочность стали, способствуют повышению ее 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 значит 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 высокое. 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 — и примеси редкоземельных металлов.

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 восстановление 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 растворенными в нем легирующими добавками дольше противостояло коррозии и поэтому сохранялось. Кроме того, полученный ноздреватый прутки обладал развитой поверхностью и при последующем науглероживании обеспечивал еще доковки 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. Мы уже знаем, насколько такая операция упрочняет металл за счет образования колоссального количества клубков дислокации и громадного увеличения их плотности. Последующая закалка клинков закрепляла высокие свойства, присущие молибденовой стали. Так на заре металлургии в Японии получали природно-легированную сталь, упрочненную пластической деформацией и термомеханической обработкой.

Кстати, подобных случаев в истории металлургии и техники встречается немало. Вот один из них, с которым столкнулся автор этой книги. В 1930 году в США появилась атмосферостойкая низкоуглеродистая строительная сталь. Она получила название «кор-тен». Незащищенная поверхность этой стали в первый период воздействия окружающей среды окислялась. Однако образующиеся при этом продукты коррозии обладали высокой плотностью и очень крепко сцеплялись с основным металлом. Поэтому дальнейшая коррозия резко замедлялась. Такие свойства стали «кор-тен» обеспечивали находящиеся в ее составе медь, хром, никель и особенно фосфор, содержание которого достигало 0,15%.

При совместном взаимодействии меди и фосфора, а также хрома с кислородом, углекислым газом и парами воды образуются труднорастворимые

соединения, которые входят в состав окисной пленки, обволакивающей сталь. В результате периодического увлажнения и высыхания защитные слои на ее поверхности полностью формируются в течение 1,5—3 лет, и после этого разрушение металла от коррозии практически прекращается.

Сталь «кор-тен» обладала еще двумя интересными особенностями. Если защитный слой повреждался, то с течением времени эти зоны «самозалечивались», вновь защищая поверхность металла от коррозии. Другая особенность атмосферостойкой стали состояла в специфичной «естественной» окраске защитного слоя, сообщающей металлу хорошие декоративные свойства. Защитный коррозионный слой, который иногда называют благородной ржавчиной, с течением времени менял свою окраску от светло-коричневого, коричневого, коричнево-фиолетового до черного и по характеру расцветки напоминал бронзу или медь.

Продолжительность службы строительных конструкций из высокофосфористой атмосферостойкой стали увеличивалась в несколько раз; кроме того, они не нуждались в покраске. Несмотря на значительные преимущества, сталь «кор-тен» получила небольшое распространение в нашей стране. Дело в том, что эта сталь обладает низкой ударной вязкостью. Ударная вязкость характеризует хрупкое разрушение металла. С понижением температуры она, как правило, падает и вероятность хрупкого разрушения возрастает.

Сталь «кор-тен» обладала удовлетворительной ударной вязкостью при температуре—20° С и не обеспечивала необходимых свойств при температуре—40° С. Соединенные Штаты Америки и Западную Европу такие свойства устраивали. В условиях русской зимы сталь с такими свойствами применять нельзя. На морозе она может растрескаться, а конструкции из нее — разрушиться. История уральских предприятий знает такие случаи, когда стальные балки, привезенные из Западной Европы и установленные летом, зимой трескались, лопались и падали.

Поэтому перед нашими металлургами была поставлена задача создать такую атмосферостойкую сталь, которую можно было бы без риска применять в условиях Сибири и Урала. Эту задачу можно было бы решить достаточно просто путем увеличения в стали «кор-тен» содержания легирующих, например хрома. Можно было бы также повысить ударную вязкость при низких температурах, подвергая сталь специальной термической обработке. Но такие методы значительно увеличивают стоимость стали, ведут к высокому расходу дефицитных легирующих и поэтому мало приемлемы. Самый эффективный путь — создание такой технологии производства, которая обеспечивала бы необходимые свойства стали при прежнем химическом составе. Возможно ли это? Да, возможно, история металлургии такие случаи знает.

Железо и сталь издавна применяются в качестве строительного материала. Фермы мостов и опоры электропередач, железнодорожные вагоны и горное оборудование, конструкции цехов и трубы тепловых электростанций, как и многие другие конструкции, выполняются из строительных марок сталей. После того как в 1778 году был сооружен первый крупный железный мост,

стало ясно, что коррозия — самый опасный враг стальных конструкций. По данным ряда ученых, к сегодняшнему дню человек выплавил не менее 20 миллиардов тонн железа и стали, 14 миллиардов тонн этого металла «съедено» ржавчиной и рассеяно в биосфере...

В 1889 году французский инженер А. Эйфель создал проект своей знаменитой башни в Париже, которую должны были соорудить из стальных ферм. Решение о ее строительстве долго не принималось, поскольку многие металлурги предсказывали, что она простоит всего 25 лет, а потом рухнет из-за коррозии стали. Эйфель же гарантировал прочность сооружения только на 40 лет. Как известно, Эйфелева башня в Париже стоит уже около 100 лет, но это только потому, что фермы ее постоянно покрыты толстым слоем краски. На покраску башни, которая производится раз в несколько лет, уходит 52 тонны краски. Стоимость ее давно превысила стоимость самого сооружения!

Покраска строительных конструкций, работающих в атмосферных условиях,— дорогое удовольствие и отвлекает много малопроизводительного рабочего времени. В то же время известны случаи, когда железные изделия очень долго служили без покраски и не подвергались никакой коррозии. О стальных балках церкви в уральском городе Катав-Ивановске мы уже рассказывали. Широко известны также перила лестниц на набережной реки Фонтанки в Ленинграде. Сделанные в 1776 году из русского сварочного железа, они простояли неокрашенными под открытым небом в условиях влажного климата более 160 лет. Академик А. А. Байков, который исследовал железные детали этих перил, пришел к выводу, что вероятной причиной высокой коррозионной стойкости металла является тонкий поверхностный слой окислов.

Аналогичное сварочное железо найдено в Свердловске. Крыша одного из зданий этого города, выложенная кровельным железом еще во времена Демидова, ни разу не обновлялась, а само железо длительное время почти не подвергалось коррозии. Химическим анализом было установлено, что ленинградские перила содержат повышенное содержание фосфора, а свердловская кровля — фосфора и меди!

Подобное железо находили и в Западной Европе. Так, в стокгольмском соборе Сторкиркан, построенном во второй половине XV века, бронзовое «семисвечье» поддерживает железный стержень. Длина его 3,5 м, поперечное сечение у основания 50X50 мм. Стержень изготовлен из отдельных кусков кричного железа, сваренных горячей ковкой под силикатным шлаком. Исследованные образцы железа от этого стержня характеризовались высокой концентрацией фосфора (до 0,074%). В областях с повышенной концентрацией фосфора обнаружена высокая твердость металла.

В этой связи уместно напомнить о знаменитой железной колонне в Дели. Как известно, она создана индийскими металлургами в 415 году нашей эры в честь победы одного из императоров династии Гупта. Ее высота — 7,2 м, диаметр у основания — 420 мм и у вершины — 320 мм. Колонна стоит уже более 1500 лет, и следов коррозии (окисления) на ней не видно. Аналогичная

колонна еще больших размеров, построенная в III веке, возвышается в индийском городе Дхар.

Каких только догадок ни делали металлурги, чтобы объяснить необыкновенную атмосферостойкость железа, из которого сделаны индийские колонны! Высказывалось предположение, что колонны изготовлены из цельных кусков метеоритного железа. Известно, что оно хорошо сопротивляется коррозии. Но в метеоритном железе всегда находили никель, а в железе индийских колонн никеля не обнаружили. Тогда предположили, что колонна сделана из чистейшего железа, полученного на особом топливе. Действительно, содержание железа в делийской колонне — 99,72%, дхарской — гораздо меньше, но и она сотни лет не подвергается коррозии.

Высказывалось мнение, что стойкость индийских железных колонн объясняется сухим и чистым воздухом местности, где они установлены. Другие исследователи утверждали, что в атмосфере когда-то было повышенное содержание аммиака, которое в субтропическом климате Индии позволило получить на поверхности колонны защитный слой нитридов железа. Другими словами, колонны якобы азотированы самой природой.

Известны и более оригинальные точки зрения: поскольку колонны считались священными, их обливали благовонными маслами, и поэтому они не ржавели. Есть даже предположение, что на колонны испокон веков залезали голые индийские ребятишки, а позднее о них «терлись» туристы. Поэтому колонны постоянно смазывались кожным жиром!

По-видимому, все гораздо проще. В индийских колоннах найдено немного меди и повышенное содержание фосфора. В железе делийской колонны его 0,114—0,180% а в дхарской еще больше — 0,280%. В обычном сварочном железе фосфора бывает не более 0,05 %, в то время как атмосферостойкая фосфористая сталь (читатель уже знает) содержит до 0,15 % фосфора. Уж очень близко содержание фосфора в индийских колоннах к содержанию его в современной атмосферостойкой стали. Не этим ли объясняется тот факт, что на поверхности колонн образовались устойчивые окисные пленки, предохраняющие железо от дальнейшей коррозии?

Есть данные, что верхняя, не доступная человеку часть колонны имела бронзовый оттенок, благодаря чему некоторые наблюдатели принимали даже материал колонны за медный сплав. Другие говорят о синевато-коричневой или синевато-черной пленке окислов, покрывающих верх колонны. Таким образом, и окисные пленки по своему внешнему виду очень напоминают защитную оболочку атмосферостойкой стали "кор-тен".

Из приведенных фактов следует: японский булат — не единственная природно-легированная сталь, изготавливавшаяся в прошлом. Индийские и русские металлурги тоже находили железные руды, из которых получали природно-легированные чугуны и стали. Но отличаются ли механические свойства природно-легированной стали от современных сталей, легирующие элементы которых вносятся во время плавки путем добавки в жидкий металл необходимого количества твердых ферросплавов? Оказывается, отличаются.

Свойства природно-легированных сталей гораздо выше.

В конце XIX столетия в России усиленными темпами начали строить железные дороги. Понадобились рельсы. Рельсы делались из бессемеровской стали, производство которой к этому времени возникло на юге страны и на Урале. Самые крупные конвертеры были установлены на Катав-Ивановском железоделательном заводе, где было организовано мощное рельсопрокатное производство.

Есть сведения, что рельсы Катав-Ивановского завода обладали необыкновенно высоким качеством. Они экспортировались даже за границу, в частности в Англию. Причем завод гарантировал безупречную работу своей продукции в течение нескольких лет. В случае выхода рельсов из строя он давал обязательство безвозмездно заменять их и оплачивать убытки. Неизвестно ни одного случая рекламаций на катав-ивановские изделия. Установлено, что высокие свойства рельсов объясняются тем, что они были сделаны из природно-легированной стали.

Катав-Ивановский чугун выплавлялся на чистых по сере и фосфору высокожелезистых бакальских рудах. К ним добавлялась бедная по железу местная руда, найденная в небольшом количестве недалеко от города. Местная руда, кроме железа, содержала хром и марганец. Поэтому в Катав-Ивановске производили природно-легированный чугун. Продувая этот чугун в конвертере, получали природно-легированную хромомарганцовистую рельсовую сталь. Этим и объясняется ее высокое качество по сравнению с обычными сталями, в том числе и легированными.

Но почему природно-легированные стали обладают высокими свойствами? Металлы — кристаллические вещества, и свойства сплавов зависят от расположения атомов легирующих элементов в их кристаллической решетке. При плавлении металлов и небольших температурах перегрева жидкого сплава в нем сохраняется так называемый «ближний порядок». Это значит, что атомы в микрообъемах вещества расположены один относительно другого определенным образом.

Современное производство легированных сталей основано на расплавлении металла, удалении из него необходимого количества углерода, освобождении от лишнего кислорода, вредных примесей и легировании путем добавки ферросплавов в жидкую ванну. При выплавке стали «кор-тен», например, в жидкую ванну добавляют феррохром, никель, медь, феррофосфор и другие ферросплавы.

Однако в связи с тем, что в слабо перегретом жидкой сплаве сохраняются устойчивые связи между существующими атомами, атомы легирующих элементов не могут попасть на те места, которые им предназначены природой. Такая закономерность сохраняется и после кристаллизации стали. Поэтому в стали, выплавляемой по современной технологии, как правило, не реализуется полностью весь комплекс физико-механических свойств которые могли бы обеспечить вводимые в нее легирующие элементы.

Если бы можно было сделать атмосферостойкую сталь без добавок

легирующих элементов в период плавки, как это делалось в прошлом, она обладала бы более высокими свойствами. Но как это сделать, где найти материалы для выплавки такой стали? Как тут не вспомнить старых русских металлургов, ведь они находили такие материалы! А в наше время?

Оказывается, и в наше время есть такие руды в Халиловском месторождении, около города Орска. Для работы на этих рудах в городе Новотроицке был построен Орско-Халиловский металлургический комбинат. И получают на комбинате природно-легированный чугун, который содержит никель, хром и фосфор.

Получать-то получают, а переделывать в обычную сталь затрудняются. Дело в том, что в обычных сталях фосфор — вредная примесь, он делает сталь хрупкой, и его надо удалять до сотых долей процента. Удаляют фосфор из расплава путем его окисления и перевода образующихся окислов в шлак. Однако вместе с фосфором окисляется хром, а окислы хрома, переходя в шлак, делают его вязким, неактивным. Это затрудняет плавку стали, удлиняет ее, повышает стоимость стали. А вот атмосферостойкая сталь имеет высокое содержание фосфора, и, следовательно, фосфор из чугуна удалять практически не надо. Значит, при переплаве природно-легированного чугуна сохранится и хром, значит, нет опасности получать вязкие хромистые шлаки. Вот и получается, что халиловский чугун самой природой создан для производства природно-легированной атмосферостойкой стали.

Эксперименты на Орско-Халиловском металлургическом комбинате привели к положительным результатам — изобретению новой природно-легированной атмосферостойкой стали. Новая никельхромомедистая высокофосфористая природно-легированная сталь с успехом выдержала все физические и механические испытания и обеспечила комплекс необходимых свойств при температуре — 40° С.

Интересно, что повышенное содержание фосфора и меди встречается также во многих образцах древних булатов. В Тульском музее оружия хранится кинжал. Длина его клинка 15 см, а ручки с головой быка — всего 10. Найден он на Куликовом поле; считают, что оружие изготовлено около 1380 года. Небольшие размеры дают основание предполагать, что это женское оружие. Внутри ручки есть пружина, с помощью которой клинок смазывается ядом, вытекающим из специальной железной трубки. Железо трубки сильно корродировано, в то время как лезвие клинка совершенно чистое, без каких-либо следов ржавчины. По-видимому, наши предки, сами того не подозревая, получали природно-легированную фосфором и медью сталь, которая хорошо противостояла коррозии.

Что же такое булат?

Нам уже известно, что булат — это прежде всего литая углеродистая сталь, обладающая специфическими узорами.

Первым подробно описал литой индийский булат, или вутц, Павел Петрович Аносов. «Булатом называется,— писал П. П. Аносов,— сталь, имеющая узорчатую поверхность: на некоторых булатах узор виден непосредственно

после полировки, на других же — не прежде, как поверхность подвергается действию какой-либо слабой кислоты». Легкость проявления рисунка при травлении являлась характерным признаком литого булата.

Кроме того, рисунок должен принадлежать всей массе булатного клинка и быть результатом естественной структуры металла, а не результатом сварки кусков металла различной твердости, как в дамасской стали. Расположение узоров на булатном клинке отличалось тем, что, повторяясь по форме, каждый из них имел неповторимые штрихи. Поэтому искусственно создать булатный узор практически невозможно. Кроме того, если узор стирался с поверхности изделия, то последующей шлифовкой, полировкой и травлением его можно было очень хорошо выявить вновь. Узор сохранялся даже при перековке сабли в кортик, нож или другое изделие.

В начале прошлого столетия было достоверно установлено, что булаты содержат удивительно много углерода—1,2—1,7%. В отдельных образцах булата найдено 2% углерода и даже больше. Значит, булат не обычная углеродистая сталь, а «сверхуглеродистая». Хорошо известно, что с увеличением содержания углерода в стали ее твердость, износостойкость и прочность после закалки возрастают. Этим и объясняется высокая прочность булатных клинков. Поражает, что наряду с прочностью булат обладает высокой пластичностью вязкостью и упругостью. Булатная сабля легко сгибалась на 90—120°, не ломаясь. Есть сведения, будто настоящий булатный клинок носили вместо пояса «обматывая» им талию.

Как мы уже говорили, индийский булат поставлялся на рынки Персии и Сирии в виде разрубленной пополам лепешки литой стали — вутца. Вутц имел диаметр примерно 12,5 см, толщину около 1 см и массу примерно 1 кг. Характерно, что вутц также имел естественный рисунок. Сохранились воспоминания путешественников по Индии, которые видели, как плавят булатную сталь. Они утверждают, что булатные слитки имели своеобразные узоры, не похожие на рисунок на готовых клинках. Очевидно, вутц рубили пополам для того, чтобы покупатель мог рассмотреть строение металла. Чтобы из вутца сделать клинок, необходимо было его правильно проковать, термически обработать и окончательно отделать. Таким образом, качество булатного клинка определялось не только материалом, но и способами его изготовления, термообработки и отделки.

Арабский ученый XII века Едриза сообщает, что в его время индийцы еще славились производством железа, индийской сталью и выковкой знаменитых мечей. В Дамаске из этой стали изготовляли клинки, славу о которых крестоносцы разнесли по всей Европе. К сожалению, в Древней Индии так тщательно прятали секреты выплавки вутца, что в конце концов потеряли их совсем. Уже в XII веке табан, например, не могли делать ни в Индии, ни в Сирии, ни в Персии.

После того как Тимур покорил Сирию и вывез оттуда всех мастеров, искусство изготовления оружия из литого булата переместилось в Самарканд; однако вскоре оно везде пришло в упадок. Потомки вывезенных мастеров,

рассеявшись по всему Востоку, окончательно потеряли способы изготовления булатного оружия. В XVI—XVIII веках мало кто в мире знал секрет производства литого булата и изготовления из него холодного оружия. Возможно, что на родине булата в Индии редкие образцы булата делали вплоть до XVIII века. Его производство окончательно исчезло после нашествия европейцев, которые завезли в страну современные способы производства стали.

Ко времени, когда были установлены научные методы определения структуры, фазового состава и механических свойств металла, в распоряжении металлургов оказались лишь музейные экспонаты булатных изделий. Некоторые из них с годами потеряли свои свойства практически полностью. Другие сохранились относительно хорошо, но владельцы редко соглашаются жертвовать своими сокровищами. Все же некоторые металловедческие исследования булата проделаны были, и мы об этом еще расскажем.

Интересно, что время оказалось самым надежным индикатором для определения настоящей булатной стали. Известно — неоднородный металл больше подвержен коррозии, чем однородный. Полосы дамасской стали ржавели довольно быстро.

До наших дней не дошел ни один меч с полностью сохранившимся цветным узором и первоначальной полировкой. Лучший образец сварочного многослойного, булата — дротик из городского исторического музея в Дюссельдорфе — имеет первоначальную политуру, но цвет узора сохранил лишь частично. Литой булат по сравнению со сварочным гораздо более стоек против коррозии, поэтому его образцы и сохранились лучше.

Таким образом, на вопрос, что такое булат, можно ответить пока только так: это литая углеродистая сталь, обладающая естественным узором и необыкновенно высокими свойствами.

Какова природа естественного узора на изделиях из литой стали? Почему его характер определял свойства этой стали? Как в древности умудрялись ковать «сверхуглеродистую» сталь, близкую по составу к чугуну? Чем объясняется необыкновенная острота лезвий булатных клинков? Почему методами современной металлургии невозможно либо нецелесообразно выплавлять сталь, подобную древнему булату?

Эти вопросы давно волнуют не только металлургов. Автор надеется, что читатель в какой-то мере найдет на них ответы в следующих главах книги.

ГЛАВА ВТОРАЯ

РУССКИЙ БУЛАТ

Время подлинных свершений не относится ни к прошлому, ни к настоящему, ни к будущему.

Г. Д. Тори

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 — цветастая — так на Руси до середины XV века называли булатную сталь. «...Храбрая сердца в жестоцем харалуже скована, а в булати закалена», — говорится в «Слове о полку Игореве». Известный русский путешественник Афанасий 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.

Советские 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 на то, что франкские и слиманские мечи изготавливаются из дамасской стали. Современник Аль-Кинди арабский ученый Ибн-Руста называет народ, владевший слиманскими мечами, «русам»; Аль-Бируни сообщает: «Русы выделявали свои мечи из шабуркана (твердой стали — Авт.), а долы посредине их из нармохана (мягкой стали — Авт.), чтобы придать им прочнось 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 долы (прорезы). Затем клинок полировали и травили. Многие русские клинки, подобно древнеримскому сварочному булату, имели рисунок в елочку.

В работе советского исследователя А. Н. Кирпичникова есть сведения о мечах из сварочного булата, найденных на территории древнерусских селений Боре, Новоселках, Михайловском и других. 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) морю». Сохранилась переписка между Иваном II и крымским ханом Менгли-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 просити есми».

Русское оружие славилось не только качеством стали, но и ее термообработкой. Закаленную сталь на Руси называли «тръпенный 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 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 сварочного булата 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. Антейн сравнительно недавно приготовил очень эффективный реактив для расчистки проржавевших лезвий древних мечей. На лезвиях древних мечей, обработанных «бальзамом Антейна», выявляют очень тонкие надписи, которые обычно располагались в верхней трети клинка. Они, как правило, 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 Антейна» 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!

Приведенные факты убедительно подтверждают, что на Руси тысячу лет назад существовали специализированные мастерские по производству оружия из сварочного булата. Оружие обладало очень высоким качеством и имело тонкую художественную отделку. Во второй половине XVII века существовала мастерская по изготовлению оружия из булата в Астрахани. Дело в том, что с 1556 по 1649 год английские купцы пользовались правом на транзитную торговлю со странами Востока по Волжскому пути. Очевидно, они и завезли в Астрахань булатную сталь и способы изготовления из нее оружия. Известно, что царь Алексей Михайлович, большой любитель дамасских клинков, посылал туда трех учеников «для учения булатных сабельных полос». Судьба учеников неизвестна, но сабли из сварочного булата, относящиеся к этому времени, хранятся в московской Оружейной палате.

В XVIII и XIX веках изделия из сварочного булата умели делать и в Златоусте. В Златоустовском музее хранятся стальной столик и несколько сабель, имеющих красивые узоры, характерные для сварочного булата. Наконец, сварочный булат в это же время хорошо делали тульские оружейники. В Туле сварочный булат язывали красным железом». Получали «краевое железо» путем сварки железных и стальных полос в самых разнообразных сочетаниях. Тульских дробовиков и другого оружия из «красного железа» сохранилось довольно много. Есть оно в Государственном историческом музее, Государственном Эрмитаже, Тульском, Смоленском и других музеях. Так что сварочный булат на Руси знали очень хорошо испокон веков. Был известен у нас и настоящий, литой булат. И некоторые сведения об этом история сохранила.

К XIX веку за словом «булат» в России укрепляется понятие высококачественной литой стали с естественным узором послековки. Как верно заметил П. П. Аносов, «под словом булат каждый россиянин привык понимать металл более твердый и острый, нежели обыкновенная сталь».

Как уже отмечалось, клинки из восточной стали попадали в Россию из Индии и Дамаска через Персию Грузию, Астрахань. Попадало на Русь также

египетское и турецкое оружие из булата. Сохранилась булатная сабля второй четверти XVI века, принадлежавшая Федору Михайловичу Мстиславскому. В описи 1884 года о ней сказано: «Полоса булатная по турецкому образцу» Клинок сабли широкий с обухом и незначительны» расширением книзу — елманью. От елмани к концу клинок обоюдоострый. На клинке в круглом клейме исполнена золотом арабская надпись: «Изделие раба всевышнего бога Касима из Каира». В 1830 году из Троице-Сергиевой лавры в Загорске в Оружейную палату поступили подобного типа сабли, принадлежавшие Кузьме Захаровичу Минину и Дмитрию Михайловичу Пожарскому. Булатные сабли упоминаются в числе подарков царю Федору Ивановичу и Борису Годунову от Кызылбашского (персидского) шаха Абасса и от Гилянского царя Ахмета. Среди подарков значатся: сабель булатных — пять; полос сабельных — две; щит — один. Начавшееся затем на Руси «смутное время» прервало отношения между Россией и Персией. В 1613 году в Москву прибывает новое посольство из Персии. Привезенные им подарки царю Михаилу Федоровичу состоят исключительно из булатного оружия.

В Государственном Эрмитаже хранится булатная сабля, принадлежавшая сподвижнику Петра I генерал-фельдмаршалу Б. П. Шереметьеву. На поверхности клинка типичный булатный узор. Это не парадное оружие, а боевой клинок. От удара он был сломан у эфеса и наварен железом. Из этого видно, что клинком дорожили. Профессор И. С. Гаев, тщательно исследовавший шереметьевский булат уже в наши дни, отмечает, что у режущей кромки клинка после травления была выявлена тонковолокнистая микроструктура, являющаяся результатомковки в одном направлении. В середине же выявлен коленчато-ониксовидный рисунок, полученный в результатековки в особых условиях, с деформацией в различных направлениях. Остальная часть поверхности клинка имеет менее четко выраженный узор спутанного характера. На поперечном изломе структура металла мелкозернистая. Булатные сабли, подобные сабле Шереметьева, имели, очевидно, очень высокие свойства.

Могли ли сабли из настоящего булата делать в России? Очевидно, выковать булатную саблю из вутца русские кузнецы умели, но получить булатную сталь до конца XVIII века в России, как и в Западной Европе, было вряд ли возможно. И вот почему.

Мы теперь уже определенно знаем, что булатная сталь — прежде всего литая сталь. А из сообщений Аль-Бируни и исследования археологических объектов следует, что вплоть до XVIII века в России, так же как и в Европе, литой стали не знали и делать ее не могли. Возникает вопрос: а как же тогда делали железо и сталь?

Здесь есть смысл слегка углубиться в историю развития металлургии. Это поможет лучше разобраться в тех исторических условиях, которые сложились, перед тем как П. П. Аносов впервые сумел выплавить русский булат.

Век железа

В отличие от серебра, золота, меди и других металлов железо редко встречается в природе в чистом виде, поэтому оно было освоено человеком сравнительно поздно. Первые образцы железа, которые держали в руках наши предки, были неземного, метеоритного происхождения. При раскопках 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 сиамскому 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 Анитгасу 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.

Г. Е. Арешнян из Ереванского государственного университета сравнительно недавно сделал интереснейший анализ упоминаний железа в «Илиаде» и «Одиссее». 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, как замечает Г. Е. Арешнян, у Гомера несет три основные нагрузки. 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, железо, так же как и в наше время, используется для сравнений. 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 встречается 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 железо самородное содержит гораздо меньше никеля, очень мало углерода.

И все-таки Г. Е. Арешнян утверждает, что древние греки получали железо из руды. Он обращает внимание, что Гомер постоянно прилагает к железу эпитеты который Н. И. Гнедич переводит как «хитрое изделие», «красивое изделие», но дословно оно означает «многотрудное», изготовленное с большим трудом. Есть и другие доказательства в пользу распространения 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. Известно, что первое железо было часто мягче бронзы. Потребовалось еще много сотен лет, чтобы люди нашли способ сделать железо более твердым и заменить им каменные, деревянные и бронзовые орудия.

На Переднем Востоке, в Закавказье и в Восточном Средиземноморье переход к массовому железному производству произошел только в XII—XI веках до нашей эры. С этого времени и начинается «век железа», который продолжается до сих пор. Правда, к массовому производству железа в разных странах

приступали в разные времена. В Египте полная смена каменных 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 101 лет — и в Китае. На территории Советского Союза широкое производство железа началось в VII веке до нашей эры и в V—IV веках до нашей эры достигло расцвета.

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

От крицы к слитку

Железо — тугоплавкий металл, температура его плавления 1539°C . Такой высокой температуры долгое время достигнуть не могли. Предпосылкой широкого распространения железной металлургии было открытие сыродутного процесса, осуществляющего восстановление железа из руды при температуре порядка 900°C . Для перехода от меди и бронзы к железу это имело большое значение. Выплавка меди из руды представляла более сложный процесс, чем выплавка железа: она требовала более высоких температур и необходимости выпуска жидкого шлака из печи. Кроме того, медные рудники были уже очень сильно истощены и не могли обеспечивать металлом потребности общества. Железные руды к этому времени были хорошо известны, они находились на поверхности земли. Это были бурые железняки, озерные, болотные и другие легко восстанавливающиеся руда.

Для приготовления железа руда дробилась и обжигалась на открытом огне. После этого руду и древесный уголь слоями складывали в яму или каменный горн, в который продували воздух. В связи с тем что «сырой» (неподогретый) воздух продувался через порцию руды 1 угля, процесс уже в наше время назвали сыродутным. Продувку в древние времена осуществляли так. Брели длинные полые стебли лотоса или бамбука, вставляли их в отверстия внизу горна и, напрягая легкие, дули изо всех сил. Но человеческие легкие оказались слишком слабыми, чтобы обеспечить нужный поток воздуха, поэтому со временем вместо дутьевой трубки начинают применять мехи, сшитые из шкур животных.

Сгорая в потоке воздуха, уголь нагревал руду и частично восстанавливал ее до железа. Оставшаяся часть окислов железа вместе с окислами других примесей плавилась и образовывала жидкий шлак. В результате этого на дне горна получали комок пористого, тестообразного, пропитанного жидким шлаком металла. Этот комок называли крицей. Первое время масса получаемой крицы была от одного до нескольких килограммов. Многократной проковкой крицы в горячем состоянии «выжимали» шлак и получали железную поковку, представляющую собой так называемое сварочное, ковкое железо, или мягкую сталь. Содержание углерода в такой стали составляло 0,12—0,26%; серы, фосфора и других примесей, как правило, было очень мало.

В настоящее время известно, что железо никогда не бывает чистым, оно

всегда содержит примеси. Фосфор и сера относятся к вредным примесям, так как вызывают хрупкость металла. Техническим железом называют сплав железа и углерода, который содержит 99,8—99,9%, железа, 0,1—0,2% примесей и до 0,02% углерода. Сплавы железа с большим количеством углерода называют сталью или чугуном. Чугун — сплав, содержащий более 2% углерода, сталь — менее 2%. Если в стали 0,6 - 1,2% углерода, ее называют высокоуглеродистой, при содержании 0,25 — 0,6% углерода — среднеуглеродистой, а если углерода меньше 0,25% — низкоуглеродистой.

Как же из сварочного железа в прошлом получал углеродистую сталь? Археологические находки говоря о том, что уже в глубокой древности был известен способ цементации (науглероживания) железа. Для получения высокой твердости и прочности углеродистую сталь необходимо закалить. Древние знали и это.

В средние века секреты многих способов цементации железа были утеряны, но в XVII веке они вновь начинают широко применяться. Один из первых патентов в мире был выдан английским королем Яковом в 1617 год лондонским ремесленникам Вильяму Эллиоту и Матис Мейсею — на изобретенный ими способ переработки железа при помощи цементации.

В Древней Руси наряду с железом часто применяли углеродистую сталь. Наибольшее распространение получили способы изготовления ее в кузнечном горне. В обычный кузнечный горн клали железную крицу, засыпали ее древесным углем и нагревали. Начиная с температур 700—900°C, углерод диффундировал (проникал) в железо. Кузнец вынимал крицу и быстро охлаждал ее в воде или снеге. Стальная поверхность крицы охрупчивалась и при ударах молота отделялась. Подобную операцию проделывали до тех пор, пока вся крица;

не превращалась в стальные пластины. Полученные пластины отжигали и сваривали между собой.

На Руси было также хорошо известно науглероживание (цементация) всей массы железного изделия. Для этого изделие вместе с карбюризатором (древесным углем) закладывали в огнеупорный сосуд, сделанный из глины или кирпичных плиток, нагревали в горне до высокой температуры и выдерживали длительное время. Таким образом получали углеродистые стали, содержащие не более чем 0,4—0,8% углерода.

С увеличением содержания углерода в стали повышается ее твердость, изнosoустойчивость и прочность. Лучшие клинки из сварочного булата изготавливались из стальных полос, содержащих 0,6—0,8 % углерода, в то время как индийский вутц или литой булат содержал от 1,6 до 2,0%, углерода. Нет сомнений, что по сравнению с сыродутным железом и среднеуглеродистой сталью булат имел фантастическую по тем временам прочность и изнosoустойчивость.

Со временем сыродутный процесс получения железа совершенствовался. Горн представлял собой уже каменную камеру квадратного сечения со стороной примерно 1,2—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 его 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. Это стало возможным после изобретения гидравлического колеса, которое увеличило мощность мехов, позволило вдвухать в горн большее количество воздуха под более высоким давлением. Теперь температура процесса повысилась до 1250—1350°С, и воздух стал проникать через более высокий столб шихты. Но главное, значительно изменились температурные условия по высоте горна: в верхнюю часть горна попадало меньше воздуха, и его температура понизилась, а в нижней его части температура была значительно выше. Поэтому в нижней части горна руда восстанавливалась быстрее. Шлака здесь еще было мало, и восстановленное железо поглощало углерод. Последнее привело к тому, что в сыродутных печах вместе с тестообразной крицей и жидким шлаком начали получать еще очень жидкий металл со странными свойствами: он был хрупкий и не поддавался ковке. Сегодня все знают, что это мог быть только чугун — сплав железа с 3—4 % углерода, его температура плавления примерно 1200°С.

Когда было замечено, что чугун образуется там, где железо долго соприкасается с углем, его начали считать негодным продуктом, получающимся из-за расстроенного хода плавки. Поэтому чугуну дали нелестные названия — «вода», «чугунная свинка», «чушка». В Англии чугун до сих пор называют «свинским железом» («pig iron»).

Вскоре люди научились использовать чугун как хороший литейный материал. Появились чугунные изделия. Потребность в них способствовала созданию специального горна. Было обнаружено, что если сыродутную печь сделать достаточно высокой, загружать в нее слоями железную руду и древесный уголь и обеспечить вдвухание большого количества воздуха, то можно получать только жидкий чугун. Печи для получения чугуна имели высокую шахту (средняя часть печи). 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 его широко применять 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%. Заметим, что такое содержание углерода все еще ниже, чем в булатной стали. Следовательно, булат и его свойства и на этом этапе развития металлургии оставались недостижимыми.

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 и вот при каких обстоятельствах.

В середине XVII века в Англии свершилась буржуазная революция, которая устранила препятствия для роста капиталистических отношений и открыла путь бурному развитию производительных сил. Это привело к промышленному перевороту, который вскоре захватил 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 был найден заменитель древесного угля, который применялся в доменном и кричном процессах. 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 постройку любых печей, потребляющих древесное топливо, во избежание истребления лесов.

Известно: техническая потребность является движущей силой науки. Революция в химии в конце XVIII века целиком и полностью связана с потребностями металлургии.

В начале XVIII века в химии господствовала теории горения немецкого химика Г. Э. Штала, согласно которой все горючие вещества, в том числе и металлы, содержат «огненную материю» (флогистон). Горение (окисление вещества) связывалось с выделением флогистона. Горит—значит, уходит флогистон!

Интересно, что несоответствие теории флогистона металлургической практике не осталось незамеченным ещё 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 пристаёт 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 собственной флогистона»! Это было непостижимо. Здесь уже история явно стучалась в двери невозмутимого Антуана Лавуазье, 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 и К. Шееле 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 кислорода в процессе восстановления руды.

Несколько раньше, в 1748 году, Михаил Васильевич Ломоносов организовал первую в России химическую лабораторию, открыл закон сохранения материи и заложил основы физической химии. Он еще до 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».

Ломоносов тщательно исследует состояние металлургии в России, изучает опубликованные в 1550 году труды Георга Агриколы, посвященные рудному делу и металлургии. В течение двух веков они были единственным произведением о производстве металлов и представляли собой описание ряда приемов горного и кузнечного ремесла. Стараниями Ломоносова значение работ Агриколы было оценено в России значительно раньше, чем в Западной Европе. Ломоносов обобщает достижения в деле извлечения металлов из руд за 200 лет в своей известной книге «Металлургия». Изданная в 1753 году, она явилась первой монографией, описывающей процессы добычи руд, выплавки и обработки металлов, характеристики их свойств.

Отметим, что в Западной Европе подобная монография вышла в свет только в 1788 году: К. П. Бертолле, А. Вандермонд и Г. Монж опубликовали коллективный «Мемуар», в котором также анализировались достижения в области производства стали и ее механической обработки.

Однако публикации несколько отставали от практики. Еще в 1619 году англичанин Дод Додлей получил королевский патент на способ плавки железной гуды и производства из нее чугуна путем применения каменного угля в печах с «раздувательными» мехами. Свое изобретение Додлей сохранял в тайне всю свою долгую жизнь.

Прошло около ста лет, прежде чем другой английский металлург Абрахам Дерби-старший 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 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 строит на реке Северн первый в мире мост из литых чугунных деталей. С тех пор чугунные мосты прочно вошли в жизнь.

Все же изобретение Дерби, распространяется медленно. Обожженный 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 получает из каменного угля кокс со сравнительно низким содержанием серы и выплавляет на нем чугун с достаточно высокими свойствами. В 1784 году Генри Корт 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 разрабатывается процесс пудлингования. Этот процесс позволял получать крупные железные крицы в пламенных (отражательных) печах, отопляемых 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. Этот продукт также называли крицей. Этим и завершился первый значительный подъем в металлургии на рубеже XVIII и XIX веков.

Часовая производительность сыродутного процесса была 0,5—0,6 кг железа, кричного — 50—60, а пудлинговой печи — 140 кг сварочного железа. Производительность пудлинговых печей ограничивалась физическими возможностями обслуживающих их рабочих.

Пудлинговое железо, получаемое в больших количествах, начинает широко применяться для строительства машин, судов, мостов и других строительных сооружений. Но продуктом пудлингового процесса по-прежнему оставалась тестообразная крица. Следовательно, условия для получения литого булата в Европе пока не существовали. И долго бы еще не существовали, если бы в Англии не произошло событие, которое история науки часто забывает отметить должным образом.

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) необходимо растворить его 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. Этим было положено начало производству литой стали. Несмотря на высокие свойства инструмента, ножей, бритвенных лезвий, часовых пружин и других изделий, Гентсману не удалось продать шеффилдским фабрикантам свое изобретение. Гентсман тщательно хранил секреты производства своей стали; но все-таки шеффилдский железозаводчик Самуэл Уокер 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 век», 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 — эти современные булаты.

Отметим кстати, что недавно наши металлурги изобрели новый высоколегированный прецизионный сплав для часовых пружин, отличающийся повышенной упругостью. Его применение увеличивает точность и продолжительность хода часов после одного завода на 2—3 часа. При создании сплава строго регламентированы физические свойства металла, которые обеспечиваются точностью его химического состава. Новый сплав для пружин часов называли «булатом».

Может возникнуть вопрос: как же тогда древние индийцы получали литую булатную сталь, если тигельный процесс был открыт так поздно? Верно иногда говорят:

новое — это забытое старое. Историки и археологи уже в наши времена 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 литую сталь, но в первый стальной слиток.

Секрет, окруженный непроницаемым покровом тайны

В начале XIX века проблема получения сталей с высокими механическими свойствами становится первостепенной Пудлинговая сталь вследствие низкой прочности не обеспечила надлежащей работы токарных, фрезерных и других станков, что сильно тормозило развитие металлообрабатывающей промышленности. В связи с этим растет интерес к булату, и многие ученые и специалисты ищут способы его производства.

В химико-металлургической литературе начинают появляться исследования, касающиеся вопросов изготовления и свойств стали, ее природы и составных частей» Во второй половине XVIII века Г. О. Бергман открывает присутствие в стали углерода, а К. Б. Карстен (первая половина XIX века) устанавливает, что углерод может существовать в этих сплавах как в виде химического

соединения — карбида железа, так и в свободном состоянии — в виде графита. Теперь все знают, что железо, сталь и чугун различаются между собой содержанием углерода и формой его существования.

Однако сущности процесса перехода сплава желез» — углерод из одного состояния в другое металлурги еще не понимают. Еще не раскрыта также роль окиси углерода и уголекислоты в процессе восстановления железной руды, хотя в 1802 году А. Круйкштейн показывает, что известный ранее тяжелый горючий газ есть окись углерода. В 1806 году Жозеф Луи Пруст открывает закон постоянства состава вещества и устанавливает, что существуют два различных окисла железа: с содержанием кислорода 27 и 48 %.

Между тем ученые и металлурги Западной Европы пытаются разгадать тайну булатных узоров. Одним из первых по поручению Лондонского Королевского общества пытается решить эту задачу известный английский физик XIX века Майкл Фарадей. Будучи сыном кузнеца, Фарадей с детства был знаком с изготовлением стальных и железных изделий, он также неплохо знает методы химического анализа металлов. Из Бомбея привозят индийскую сталь (вутц), и Фарадей находит в ней... алюминий. «Следовательно, — решает Фарадей, — узор булата является результатом примеси к сплаву алюминия!» Для подтверждения этой мысли он приготовил несколько сплавов чугуна с алюминием. Чугун дробился, растирался в порошок, смешивался с чистым алюминием и сплавлялся в закрытом тигле. Полученный сплав содержал 6,4 % алюминия и внешним видом был похож на вутц.

В дальнейшем Фарадей исследует сплавы стали с серебром, платиной и другими элементами и подтверждает способность таких сплавов давать «струистую» структуру, якобы обеспечивающую высокие свойства.

Изделия из фарадеевского «булата» не сохранились. Известно только, что из этой стали была изготовлена партия бритв, которые Фарадей любил раздавать друзьям. В то же время попытка одной из фирм использовать сплавы Фарадея для промышленных целей не увенчалась успехом, поэтому его предположение о природе булатного узора нельзя считать подтвердившимся. Все же Западная Европа, кроме всего, обязана ему и тем, что он в первой четверти XIX века пытался установить разницу между естественным литым булатом и искусственным, сварочным (дамасской сталью).

Теперь хорошо известно, что алюминий встречается в природе только в виде окислов и солей, из которых он очень трудно восстанавливается. Электролитический способ получения алюминия был открыт Чарльсом Холлом в 1886 году. В 1825 году, в то время, когда Фарадей делал свои эксперименты, алюминий стоил в 1500 раз дороже железа и гораздо дороже платины. Повторить опыты Фарадея было не так-то просто, и поэтому они произвели большое впечатление на металлургов и химиков.

Директор Парижского монетного двора Г. Бреан поддерживает мнение Фарадея о том, что булат — сплав железа с какими-то металлическими примесями, подобно тому как бронза — сплав меди с оловом. Он изготавливает сплавы с различными металлами. Его клинок из сплава высокоуглеродистой

стали и платины (0,5%) даже демонстрировался на Парижской промышленной выставке. Кроме узора, никаких других свойств булата Бреану подтвердить не удалось. А сравнивать было с чем. Наполеон во время египетского похода захватил в качестве трофея булатные клинки, поражающие необыкновенной прочностью, упругостью и красотой узоров.

Позднее, после многочисленных опытов. Бреан приходит к выводу, что булат — литая углеродистая сталь, в которой «при надлежащем ходе охлаждения происходит кристаллизация двух определенных соединений — углерода и железа», причем углерод находится в избытке. Это представление о существовании особого вида соединения углерода с железом в булатных сталях находит себе сторонников. Появляются работы, в которых утверждается, что секрет индийского вутца заключается в том, что в жидкую сталь добавляют ветки и листья кустарников и деревьев особых пород, способствующих образованию необычного соединения углерода и железа.

Однако на основании опубликованных докладов М. Мериме и М. Г. Милле можно заключить, что и после приведенных работ многие западные металлурги продолжали отождествлять сварочный булат с индийским вутцем. Так, Мериме, описывая способ изготовления булата путем сварки железных полос с цементацией их хлопком, приводит свидетельства миссионера из Индии о том, что там при изготовлении клинков также применяют остатки хлопка. Этой ссылкой он пытается доказать, что секрет булата им раскрыт. К аналогичным приемам прибегает и Милле, который, получив сварочный булат при помощи особых способов цементации железа, отождествляет его с индийским вутцем.

Шведский металлург Ринман вообще отрицал возможность появления узоров на литой стали. Он считал, что узоры булата могут быть только результатом сваривания стали и железа разной твердости, а различие в узорах зависит от способов сваривания. В то же время многие западноевропейские металлурги продолжают утверждать, что булат — сплав железа с другими элементами. Г. Бертье, Фабр дю Фор и другие получают узорчатую поверхность стальных изделий, сделанных из сплавов железа с серебром, платиной, хромом, и берут на этот способ патенты. Патенты выданы, а заключение печальное: «Фабрикация булатных клинков является секретом, окруженным непроницаемым покровом тайны восточных мастеров. Европейцы тщетно старались в течение долгого времени открыть этот секрет», — подводит итог западноевропейским работам по булату в первой четверти XIX века французский металлург Г. Турай.

Так же, как и в Западной Европе, в России начала XIX века шли поиски секрета приготовления булатной стали. Только что закончившаяся война с Наполеоном показала: к этому времени русская армия, считавшаяся одной из сильнейших в мире, не имела на вооружении хороших клинков. Военное министерство энергично ищет хороший металл для производства холодного оружия.

Начало поисков нельзя назвать удачным. Штаб корпуса горных инженеров дает задание Златоустовскому заводу проверить методы изготовления булатной

стали западных металлургов Бреана и Фабр дю Фор, патенты которых были куплены русским правительством. Опыты, естественно, показывают, что стали с необходимыми свойствами этими методами получить нельзя!

В 1826 году Г. И. Реваз, дворянин грузинского происхождения, коллежский регистратор мастерской оружейной палаты, в специальном прошении правительству изъявляет готовность открыть известный ему секрет «составления булата и литой стали и научить сему мастеров». Опыты начинаются в 1827 году на Тульском оружейном заводе. Приготовленные Ревазом образцы стали и сабельные клинки оказались очень высокого качества. Они были освидетельствованы в Тульском правлении и получили следующую оценку: «Клинки Реваза сделаны подобно настоящему восточному булату, известному под названием вутц, и сохраняют дамаскировку или узорчатую поверхность даже после новой переплавки. Резкой чистоты звук, издаваемый ими последними, совершенно сходствует со звуком, издаваемым при ударе восточными клинками...»

Когда же Реваз описал свой способ получения литого булата из «шинного железа, чугуна, руды и мела», опытные металлурги обнаружили, что этот «способ противоречит здравым понятиям первоначальных правил химии». Было установлено, что «в его руках было некоторое количество знаменитого индийского вутца, из которого он и приготовил свои изделия, выдавши его за металл собственного производства».

В начале XIX века в России идут также упорные поиски способов производства литой стали. Такую сталь уже научились получать в Англии и других странах Западной Европы. Тигельная литая сталь обладала механическими свойствами намного выше цементованной, и поэтому ее стали называть «булатной», или «дамасской» сталью. Первые сообщения о получении литой стали носили явно рекламный характер. Так, например, в декабре 1820 года Департамент горных и соляных дел получил сообщение с Баташевского (ныне Выксунского) завода в котором утверждалось, что там делают «самой булат или подражание дамаскинской стали». Встречались подобные сообщения и в газете «Северная пчела»: «Клинки Завьялова гнутся как китовый ус, упруги, крепости необыкновенной, берут все, даже, подобно дамаская. самое железо». Таким образом, появляющиеся образцы обычной литой тигельной стали первое время ошибочно связывали с производством булата.

Отметим, что выдающийся металлург С. И. Бадаев в 1820—1830 годах нашел способ производства литой стали, не уступавшей по своему качеству лучшим иностранным образцам тигельного металла. Бадаевская сталь с успехом применялась для инструмента на монетном дворе. Все же газета «Северный муравей», очевидно, несколько преувеличивала, когда сообщала в 1830 году, что Бадаев показывал «столь отличные образцы литой стали, что она как фигурами дамаскировки своей, так и крепостью едва ли уступит настоящему булату», причем «сталь сия» была «чистая литая сталь без малейшей примеси платины, серебра и хрома».

Литого булата Бадаеву получить не удалось...

В Индию с железом

То, что не сумели сделать западноевропейские металлурги, сделал русский инженер П. П. Аносов: он раскрыл в конце концов тайну, «окруженную непроницаемым покровом», и разработал технологию получения булата, по качеству не уступающего древнему вутцу.

Как мы уже выяснили, русские мастера производства литого булата не знали, но им были известны способы изготовления оружия и инструмента из сварочного булата. Кроме того, в Астрахани и Тифлисе умели ковать клинки из индийского вутца, в то время как в Западной Европе этого делать не могли. В XVIII веке, по свидетельству Баязета, парижские оружейники не сумели изготовить оружие из доставленных им образцов булатной стали.

Славилась Русь и качеством сварочного железа. Сохранились так называемые «Торговые книги», из которых следует, что еще в XVI и XVII веках обычным

делом была продажа русского уклада (стали) «в Немцах» (так на Руси в то время называли все западноевропейские страны). Западноевропейский деятель Яков Рейтенфельс, побывавший в Московии в 1670 году, писал, что страна москвитов «живой источник хлеба и металла».

Интересно, что в те времена были широко распространены железодельные 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 10000м² 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 употреблялось 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 с 1700 по 1800 годы только на одном Урале было построено 123 железоделательных завода. Русское железо помогло стране построить огромное количество предприятий. К концу жизни Петра их насчитывалось 233, а к концу XVIII 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 в указанные места, и продавали со следующими знаками:

Первая проба: вкопать круглые столбы толщиной в диаметре по шести вершков в землю так далеко, чтобы оное неподвижно было, и выдолбить в них дыры величиною против полос, и в тое дыру то железо просунуть, и обвести кругом того столба трижды, потом назад его от столба отвести, и ежели не переломится, и знаку переломного не будет, то на нем сверх заводского клейма наклеить № 1.

Вторая проба: взяв железные полосы бить о наковальню трижды, потом другим концом обратя такожды трижды от всей силы ударить, и которое выдержит, и знаку к перелому не будет, то каждое сверх заводского клейма заклеить его № 2.

На последнее, которое тех проб не выдержит, ставить сверх заводских клейм № 3. А без клейм полосного железа отнюдь чтоб не продавали».

Долго ещё после петровского указа качество стали оценивалось по числу «загибов». Пружинная сталь делалась в шесть «загибов», монетная — в восемь, инструментальная и дамаская — в двенадцать. За нарушений своих указов царь спрашивал строго. Указом от «II ген вая 1723 года» он повелевал: «...Ружейной канцелярии из Петербурга переехать в Тулу и денно и ночью блюсти исправность ружей. Пусть дьяки и подьячие смотрят, как альдерман клейма ставит. Буде сомнение возьмет, самим проверять и смотром и стрельбою. А два ружья каждый месяц стрелять, пока не испортятся.

Буде заминка в войске приключится, особливо 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 полотен 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 — относятся 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 пригодного для этой цели русского и шведского железа. Недаром английская газета «Морнинг пост» писала в 1851 году: «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 наше производство едва начало развиваться. Демидовское железо много 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 Габайдула Амиров, странствовал по Индии 30 лет (1775—1805 годы), 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»!

Нет ничего удивительного, что железодельные фабрики и заводы в большом количестве создавались на Урале. По берегам рек здесь находили

много железной руды, из нее состояли целые горы — Бакал, Высокая, Магнитная, Атлян и много других. В 1696 году в Тулу доставили пробы уральской руды — магнитного железняка. Эта руда оказалась гораздо лучше болотной, из которой чаще всего изготовляли тогда железо в Центральной России. Первое железо из нее приготовил тульский кузнец Антуфьев (Демидов). Железо по качеству не уступало «свойскому» (шведскому) — лучшему в Европе.

Работали тогда заводы на древесном угле. Леса на Урале было много, а для перевозки металла в глубь страны использовали даже несудоходные реки, на которых сооружались заводские плотины. В нужное время, обычно весной, шлюзы плотин одновременно открывались, и на «большой волне» баржи с металлом плыли до реки Уфы или Белой. Поэтому на Уральских заводах операционный (производственный) год начинался в июне, а оканчивался в мае, когда по рекам сплавляли металл.

Первые заводы—Невьянский и Каменский—были основаны в 1701 году, а в 1725 году уже работает металлургический завод в Нижнем Тагиле, который становится самым крупным на Урале. После основания города Оренбурга начинает развиваться горное дело на Южном Урале. Один за другим открываются заводы Кононниковский (1750), Преображенский (1753), Верхне-Авзянопетровский (1755), Нижне-Авзянопетровский (1756), Катав-Ивановский (1757), Белорецкий (1761), Миасский (1776) и другие.

20 ноября 1751 года тульские промышленники Мосоловы заключают контракт с Оренбургской канцелярией на строительство железоделательного завода по речкам Сатке и Кувашу. Однако это место как невыгодное для железоделательного завода вскоре было отдано Строгановым, которые в 1758 году построили здесь Троице-Саткинский чугуноплавильный и железоделательный заводы. А Мосоловы выбрали новое место — в Косотурском урочище, на реке Ай, в полуверсте от устья речки Тесьмы. Здесь и был основан в 1754 году Златоустовский завод — один из самых крупных металлургических заводов на Южном Урале. Он строился медленно, первая домна была задута лишь в 1761 году. В 1773 году завод уже давал до 140 тысяч пудов чугуна, 90 тысяч пудов железа и 1,885 тысячи пудов меди.

К этому времени уральские заводы в техническом отношении занимали первое место в мире. Железо и сталь здесь получали уже только из чугуна методом пудлингования. Эксплуатировались крупнейшие в мире доменные печи, дававшие до 100 тысяч и более пудов чугуна в год. Уральские домны к концу XVIII века ставят мировые рекорды не только по производительности, но и по экономическим показателям: они расходуют вдвое — вчетверо меньше древесного угля на единицу чугуна, чем западноевропейские. Недаром они привлекают внимание металлургов всего мира. Известный немецкий историк Людвиг Бек называл их «величайшими древесноугольными доменными печами континента». Он подчеркивал высокую производительность домен и их экономичность.

Таким образом, к началу XIX века Урал выдвинулся как грандиозный по

тогдашним, уже не русским только, а и мировым масштабам, промышленный район.

Перед Отечественной войной 1812 года на Златоустовском заводе было решено основать специальную фабрику белого оружия, но открылась она только в конце 1815 года. Весной 1816 года по реке Ай уже отправляли первую партию холодного оружия. Вскоре Златоуст приобретает широкую известность выделкой холодного оружия, в основном сабель типа «дамасских» (сварочного булата), которые были почему-то известны как «турецкие».

Оружие со специальными украшениями изготовлялось по правительственным заказам, спрос на него из года в год возрастал и особенно усилился после посещения Златоуста царем Александром I в 1824 году. В связи с этим журнал «Отечественные записки» писал:

«Оружейная фабрика — главная достопримечательность Златоуста, предмет, достойный обратить на себя внимание всей просвещенной Европы».

Для отделки холодного оружия в Златоуст были приглашены золингенские мастера из Германии. Среди приглашенных были отец и сын Шафы, славившиеся своим искусством по всей Европе. Пятидесятишестилетний Вильгельм Шаф и его старший сын Людвиг считались непревзойденными мастерами по вытравке и позолоте. Шафы очень дорожили «тайной» своего мастерства. По заключенному договору они «обязаны были секреты состава золочения никому не передавать», но сделать подробное описание, из каких материалов вещество готовится, чтобы «опытный человек мог потом его составить». Описание это должно было храниться под сургучными печатями в конторе фабрики.

Уральские умельцы быстро научились у Шафов украшать оружие. Выдающимися мастерами рисунка, вытравки и позолоты на клинках были Иван Николаевич Бушуев и Иван Петрович Бояршинов. Они отделявали клинки не хуже золингенских мастеров. Вскоре оказалось, что Шафы ничего «удивительного» для Златоуста создать уже не могут, и они покинули фабрику. Конверт с сургучными печатями, хранивший «секрет» Шафов, спокойно пролежал в несгораемом шкафу 60 лет и был случайно найден только в 1877 году. Оказалось, что описанные приемы травления и золочения злато-устовские мастера к этому времени очень хорошо знали.

Не случайно в 1829 году образцы Златоустовского холодного оружия были в числе лучших экспонатов на первой промышленной выставке в Петербурге. Особенно отличился охотничий нож с изображением сцен охоты и шпага с крылатыми конями-пегасами, выполненные мастером Иваном Бушуевым. Согласно легенде с тех пор Бушуева стали называть Иванко-Крылатко. Так или иначе, отсюда ведет свое начало знаменитая Злато-устовская гравюра на стали. И крылатый конь в гербе города — тоже оттуда. Герб Златоуста — ковш и пегас. Ковш символизирует сталь, а пегас на ковше — злато-устовскую гравюру на стали.

Златоустовская сталь

Павел Петрович Аносов родился в 1799 году в Петербурге в семье мелкого чиновника горного департамента. В 1810 году по ходатайству деда Льва Собакина, механика Камско-Воткинских заводов, был определен в Петербургский горный кадетский корпус, который был тогда единственным высшим учебным заведением, готовившим специалистов горного дела. Павел Аносов окончил его в 1817 году с Большой золотой медалью. В конце этого же года молодой шихтмейстер прибыл на Златоустовские заводы в качестве практиканта. Вряд ли он знал тогда, что пройдет путь от практиканта до горного начальника Златоустовских заводов и директора оружейной фабрики, что здесь, в Златоусте, он создаст свою теорию производства литой стали и овладеет вековой тайной получения булата. Начал же он с того, что в 1819 году представил дипломную работу «Систематическое описание горного и заводского производства Златоустовского завода».

В то время Златоустовский завод, хотя и имел уже устаревшее оборудование, но являлся металлургическим предприятием с полным циклом. Чугун выплавляли в доменной печи с двумя горнами, воздух в которые подавался цилиндрическими мехами, приводящимися в действие водяными колесами. Кроме передела на железо и сталь, чугун использовали для литья как в песчаные и глиняные формы, так и в металлические. Отливали кричные молоты, наковальни, колеса, ядра, бомбы, а также гири, горшки, сковородки и другую хозяйственную утварь. В те годы говорили, что «вся Россия печет блины на уральских чугунах» (сковородах).

Для переработки чугуна в кричное железо и «уклад» (сырцовую сталь) на заводе действовали две кричные фабрики с 12 горнами. Каждый горн имел свой особый кричный молот, приводимый в действие водяным колесом. Для изготовления сортового железа работала специальная переделная фабрика с прокатными и резными станами для получения мерной полосы. Сравнительно небольшое количество стали, шедшее на инструменты и холодное оружие, готовилось из «уклада», который подвергали цементации (науглероживанию). Процесс цементации железа производился в специальных томильных печах при температуре около 1000°C и длился 7—8 суток. Завод изготавливал 11 сортов железа и стали.

Оружейная фабрика, работающая на заводе, славилась уже не только в России, но и далеко за ее пределами. Златоустовские мастера изготавливали холоднее оружие высокого качества; шашки, сабли, палаши, саперные и охотничьи ножи. Эти изделия успешно конкурировали с европейскими образцами. В то же время инструментальная сталь по своему качеству уступала английской. Это главным образом объясняется тем, что, когда Аносов приехал на Златоустовский завод, там литой стали еще не изготавливали.

Секрет получения литой стали в России первой четверти XIX века являлся достоянием отдельных мастеров. Серьезных успехов в этом деле, как уже было отмечено, добился С. И. Бадаев (Камско-Воткинский завод). Он сконструировал специальную печь, имеющую два отделения —

цементационное и тигельное. Кричное полосовое 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 Полухов. По заключению монетного двора сталь Полухова «...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°C.

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. Так, например, мастер из Золингена Петр Каймер пытался ввести на Златоустовском заводе литую сталь. Он обставлял свою работу большой таинственностью, к плавкам готовился долго и за два года работы выдал всего 9 пудов относительно годной стали. А обошлась его сталь в 10—15 раз дороже цементованной. По этим и другим причинам государственный департамент часто отказывался выдавать привилегии на способы производства тигельного металла. Между тем многие поступающие изобретения имели, очевидно, немалую ценность. Это подтверждает недавно установленный факт, что из всех русских архивов бесследно исчезли описания различных приемов получения стали, применявшихся в то время на заводах страны.

Проанализировав имеющийся опыт различных способов выплавки стали для оружия и инструмента, П. П. 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 хорошо себе представлял, что производство литой стали складывается из следующих операций:

«Устройство печей, приготовление плавильных горшков, плавка, отливка в

формы и ковка». Поэтому он начал с устройства пламенных печей. Им был спроектирован отопляемый углем горн для печи с подогревом восьми тиглей одновременно и сооружен корпус с восемью такими печами. Печи для выплавки тигельной стали эксплуатировались на Златоустовском заводе до начала XX века, то есть чуть ли не 100 лет!

Одной из самых трудных задач во времена Аносова являлась организация производства тиглей — «плавленных горшков», как их называли. Производство глиняных тиглей было хорошо известно, так как они применялись для литья цветных металлов, а позднее — для переплавки чугуна. Мастер Боткинского завода Федор Мезенцев даже придумал ручной винтовой штамп для приготовления «плавленных горшков». Но для приготовления литой стали требовались тигли очень высокой огнеупорности. Такие тигли выписывались из-за границы, из города Пассау в Баварии, около которого находились залежи высокоогнеупорной глины. Цена их была очень высокой. Поэтому Аносов пришел к выводу, что «иностранные горшки особенно в столь отдаленном месте, как Златоуст, были бы слишком дороги для стального производства, и, не заменив их своими, успех был бы безнадежен».

А горшки из челябинской глины как будто и обладали достаточно большой огнеупорностью, но постоянно трескались при высоких температурах. Исследование причин образования трещин показало, что они получались вследствие расширения частиц глины: при высоких температурах одни частицы «давили» на другие. Аносов понял, что трещины в горшках являются результатом большой усадки, которую давала глина при нагревании. Для предупреждения трещин было необходимо добавить к глине «тело, которое бы уменьшило... способность сжимания». Аносов делает анализ заграничной глины и находит, что этим «телом» являлся графит. В пассауских горшках сама природа позаботилась соединить глину с графитом. Итак, для предупреждения трещин тигля в челябинскую глину надо добавить графит. Но где его взять?

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

СНОВА ТАЙНА

Река истины протекает
через каналы заблуждений.
Р. Тагор

Рецепт есть, булата нет

На рабочем столе Владимира Ильича Ленина, в его кабинете в Кремле лежит нож для разрезания бумаг — это подарок златоустовских рабочих, сделанный Ленину в 1921 году. Стальной клинок ножа украшен тонким чернением и эмалевым орнаментом. Ручка черного дерева—отличной ручной работы. На лезвии ножа изображены корпуса оружейной фабрики и вытравлена надпись: «Товарищу Ленину. Златоустовская оружейная фабрика». Окантовка рисунка и надпись выполнены золотом.

Ленин хорошо знал златоустовскую сталь и ценил ее высокое качество. Он очень любил свой охотничий «булат», клинок которого был изготовлен еще в конце XIX века. Этот нож в деревянных ножнах, с рисунком на лезвии, изображающим два ружья, охотничью сумку и оленьи рога, был преподнесен ему в апреле 1920 года, в честь его пятидесятилетия рабочими Златоуста.

Умели ли в Златоусте делать булат в конце XIX века? Однозначно ответить на этот вопрос трудно. Целесообразнее внимательно проанализировать некоторые исторические факты.

Незаменимым помощником П. П. Аносова при изготовлении булатных слитков был выдающийся стальных дел мастер Николай Иванович Швецов. Он 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 провины». 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 ее 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 уже ходил с отцом на завод. После окончания горнозаводской школы он освоил профессии слесаря, токаря по

сверлению ружейных стволов и машиниста воздуходувной 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 молчаливого нрава, он никогда никому не объяснял, что и зачем делает. Он сам плавил сталь, сам изготавливал из нее клинки и различный инструмент, сам определял их структуру и качество.

В 50-х годах прошлого века производство булатной стали на Златоустовском заводе резко сократилось, ее готовили только по специальным заказам. Это, возможно, было связано с тем, что в это время горный инженер П. М. Обухов организовал широкое производство тигельной стали для отливки пушечных стволов. Есть также сведения, что вплоть до 1875 года отдельные заготовки булата, сделанного ещё во времена П. П. Аносова, хранились на заводском складе и употреблялись только для такого инструмента, которому нужна была очень высокая твердость и стойкость.

П. Г. Бояршинов, который с 1902 года работал на заводе рядом с П. Н. Швецовым, рассказывал о таком случае. В 1905 году, возвращаясь с русско-японской войны, в Златоусте остановился какой-то высокий чин, Офицер обратился к управителю завода с просьбой сделать ему такую шашку, которая бы рубила все существующие в заграничных армиях клинки, оставаясь целой и невредимой. Офицер объяснил: он поспорил с ехавшими с ним в поезде иностранными военными, утверждая, что шашки, изготовленные златоустовскими мастерами, имеют значительно более высокое качество, чем лучшие заграничные. Управитель завода и приехавший офицер уговорили П. Н. Швецова заняться этим заказом. П. Г. Бояршинов и мастер К. К. Моисеев помогли своему учителю отливать слиточки булата.

В печи Сименса на 28 тиглей булат готовили только в одном тигле, который ставили в самое горячее место печи. В тигель с булатом загружали не более 8 кг шихты, в то время как в тигли с обыкновенной сталью закладывали 30—32 кг металла. После окончания плавки сталь медленно охлаждали. Полученный слиточек в виде хлеба медленно подогревали до красного каления, надрубали зубилом и раскалывали под молотом пополам. С половинок снимали внешнюю корку, подогревали на горне и клали разрезанной плоскостью на наковальню. Ковали заготовку на полосу сечением 25X40 мм, из которой специальными приемами делался клинок. Нагрев под закалку и отпуск осуществляли в ваннах с расплавленным свинцом. Для травления клинка применяли пивной уксус в смеси со слабой соляной кислотой.

Подобным образом в конце 1905 года Швецов отлил много слиточков булата разного состава, делал из них клинки, но качество их ему пока не нравилось. Таким образом, у П. Н. Швецова булат получался не всегда.

«Прихожу я однажды на работу,— вспоминал П. Г. Бояршинов,— а Павел Николаевич вынимает из шкафа грубо отполированный клинок и говорит: «Вот это наконец-то то, что надо. Наши шашки рубит. А раз наши рубит, то

обязательно будет рубить и заграничные»,

Сдал П. Н. Швецов клинок на оружейную фабрику, сделали там из него шашку, отполировали, красиво отделали, поставили марку завода и послали тому самому офицеру. А через некоторое время управителю завода пришло письмо, в котором сообщалось, что пари офицер выиграл, а мастера за выполнение заказа благодарит и награждает вместе с помощниками деньгами.

В Златоустовском музее можно увидеть поковку булата, приготовленную П. И. Швецовым. Сохранились также образцы его клинков с ярко выраженным волнистым рисунком (фото 4). Но самое важное, что в этом музее хранится записная книжка П. Н. Швецова, в которой он отмечал составы шихты и результаты опытных плавок. Начало записей относится к 1883 году. Из них можно заключить, что автор готовил в тиглях не только булат, но и сплавы с кремнием, молибденом, ванадием, титаном и изучал их свойства. Интересно, что в этих же тиглях из руд и сырых материалов приготавливались ферросплавы.

Еще в 1884 году П. Н. Швецов сплавлял железо с хромом и получал высокохромистую нержавеющую сталь. Он плавил также быстрорежущую инструментальную сталь, которую называл «самозакалкой». В 1903 году завод заключил договор с австрийской фирмой «Бр. Беллер» на поставку инструментальной стали марки «рапид». Особые пункты договора охраняли исключительное право фирмы на рецепты приготовления этой стали и на сбыт ее в России и за границей в течение последующих 10 лет. В короткий срок в Златоусте было освоено производство стали «рапид», но при этом выяснилось, что «самозакалка» Швецова ей не уступает. Договор с фирмой был досрочно расторгнут, на заводе начали плавить швецовскую инструментальную сталь, которая долгое время была известна под названием «рапид-самокалка».

В записной книжке Швецова часто упоминается «Ломъ булата» или «булат». Помечено, что свойства булата достигались при плавке шихты, состоящей из 1,5 фунта кричного железа, 0,25 фунта зеркального чугуна, 1,5 золотников синеродистого калия и 0,5 золотников марганцовистого чугуна. В 1906 году П. Н. Швецов продал рецепты приготовления булата дирекции Златоустовского завода. Рецепты были, а булата — не было. После 1905 года в Златоусте никто делать булата уже не умел. Секрет его получения вновь оказался безвозвратно потерянным...

Чем же объяснить, что еще при жизни П. Н. Швецова перестали плавить узорчатую сталь? Ответ на этот вопрос сравнительно прост. Дело в том, что в начале XX века изобретают и начинают широко применять легированные стали. Физико-механические свойства таких сталей гораздо выше не только углеродистых, но и булатных. Нет ничего удивительного, что ещё француз Беотье и другие западные металлурги принимали за булат хромистую сталь.

Старожилы Златоуста любят рассказывать такой случай. В 20-е годы кавалерийские сабли и шашки делались уже из стали, содержащей примерно 3% хрома. Однажды на завод попал известный военный кавалерист и, увидев булатные сабли, поинтересовался, насколько лучше они современных. Ему разрешили «рубануть» современной шашкой по булатной и... на булатной

сабле осталась зазубрина! Хром, молибден, вольфрам и другие легирующие элементы так повышают твердость и прочность стали после закалки, что булату с ней тягаться не под силу. Вот почему легированные марки стали, получаемые тигельным процессом, часто принимали за булат. Так, например, мастер К. К. Моисеев утверждал, что ему приходилось лично в 1920—1925 годах плавить «булат» следующего состава (в%): углерод—1,55—1,44; хром—0,7—0,8; марганец—1,52—1,64;

вольфрам — 0,69—0,86. Конечно, свойства этой легированной стали не уступали булату!

Таким образом, в начале XX века легированные стали позволяли получать холодное оружие и инструмент очень высокого качества. Необходимость приготовления булата полностью отпала.

Узорчатая сталь? Сколько угодно!

В XIX веке последователи Аносова, известные русские металлурги П. М. Обухов, А. С. Лавров, Н. В. Калакуцкий развивали его идеи о получении совершенной стали, искали научные обоснования металлургических процессов. Так, например, А. С. Лавров изучал строение стального слитка, впервые применил алюминий для удаления кислорода из стали, выдвинул идею подогрева верхней части слитка термитными смесями для того, чтобы уменьшить его усадку и увеличить выход годного металла. Совместно с Н. В. Калакуцким он открыл и объяснил ликвацию стали — неравномерное распределение примесей в объеме слитка. Работы Аносова и его последователей продолжил выдающийся ученый-металлург Д. К. Чернов, обобщения и открытия которого в начале XX века завершили формирование металлургии как пауки.

В 1878 году Д. К. Чернов описал характер затвердевания (кристаллизации) стали и показал особенности перехода ее из жидкого в твердое состояние. Он разработал схему образования кристаллов в жидком металле, исходя из того, что они состоят из дендритов — древовидных образований. Чернов собрал большую коллекцию кристаллов, которые были извлечены из стальных слитков. Некоторые из них достигали размеров 3—5 мм.

Однажды полковник А. Г. Берснев, служивший приемщиком на металлургическом заводе, нашел в грудe стального лома на шихтовом дворе огромный кристалл. В собрании Чернова это был самый крупный дендрит — он весил почти 3,5 кг и имел длину около 40 см. Вскоре он стал широко известен как «кристалл Чернова».

Величину дендритов Д. К. Чернов связывал с условиями охлаждения стали: «Если расплавленную в тигле сталь вы будете при охлаждении приводить постоянно в сильное сотрясение, достаточное для того, чтобы все частицы ее приходили в движение, тогда слиток будет иметь чрезвычайно мелкие кристаллы,— писал Д. К. Чернов,— если же эту сталь оставить без всякого сотрясения и дать массе спокойно и медленно охлаждаться, тогда у вас эта же сталь получится в крупных, хорошо развитых кристаллах».

Склонность стали к кристаллизации, форма кристаллов и их взаимное расположение зависят не только от условий кристаллизации, но и от химического состава стали, степени ее загрязнения вредными примесями. Чем меньше примесей в стали, тем легче получить при кристаллизации ее крупные кристаллы. Исходя из этого, Д. К. Чернов считал, что первоначальная крупная кристаллическая структура является первоосновой булатного узора. Это утверждение как будто совпадало с рекомендациями П. П. Аносова, который писал, что «для получения совершенного булата» необходимы особой чистоты материалы, «сильный жар во время плавки», «медленное охлаждение тигля» и «наименьшее нагревание при ковке».

По указанию Д. К. Чернова его сотрудники не раз пробовали плавить булат. Они брали железо, чистое по фосфору и сере, сплавляли его с серебристым графитом в присутствии окалины и флюса, сильно нагревали и медленно охлаждали в огнеупорных тиглях. Поверхность слитков шлифовали, полировали и травили кислотой. И действительно, слитки имели ярко выраженные древовидные узоры. Елочки со стройными стволами и строго симметричными ветвями отбрасывали серебристые тени и были очень красивы. Слитки разрезали, вновь шлифовали, полировали, травили, и узоры повторялись, они были присущи всему объему металла.

Остался, казалось бы, пустяк: известными приемамиковки сплести стволы и ветви узора так, чтобы получить рисунок, характерный для булатов. Но как раз это не получалось. Д. К. Чернов твердо установил, что нагрев стали под ковку до обычных температур (800—1100°С) необратимо уничтожает дендритные узоры...

Для того чтобы сохранить узоры, необходимо ковать сталь при достаточно низкой температуре, считал Д. К. Чернов. Если это соблюдено, то нарушения кристаллического строения не происходит, в «сплетения» кристаллов должны изменить свой вид так или иначе, более или менее в зависимости от направления и степени вытягивания при обработке. Поэтому, выковав пластинку и вытравив кислотой ее шлифованную поверхность, получают узор иного вида, с красивыми линиями или вроде фибр дерева, например дуба. Однако найти температуруковки, при которой бы сохранялись узоры, не удавалось. И Чернов долго считал, что искусство древних кузнецов основывалось на знании секретов пластической деформации стали при «наименьшем нагревании».

Позднее Чернов объяснял свойства булата не только «сплетением» кристаллов, но и ликвацией углерода. Когда булатный слиток остывает, то первой начинает кристаллизоваться более тугоплавкая малоуглеродистая сталь. Между дендритами этой стали располагаются возникающие позже кристаллики менее тугоплавкой высокоуглеродистой стали. Поэтому и получается сложное переплетение твердых и пластичных кристаллов. Описанное явление сегодня широко известно как дендритная, или внутрикристаллическая, ликвация углерода.

Дендритная ликвация углерода и легирующих элементов оказывает

значительное влияние на свойства легированных сталей после горячей деформации. Этому явлению, открытому Д. К. Черновым, уже в наше время посвящено немало научных работ.

Ученик Чернова Н. Т. Беляев, понимая невозможность превратить в булатный узор дендритную структуру литого металла путем низкотемпературной деформации, несколько иначе излагает взгляды своего учителя на происхождение булатного узора. Он обращает внимание на то обстоятельство, что при медленном охлаждении стали ветви дендритов «состоят из последовательного ряда концентрических оболочек попеременно меняющегося состава, что и влечет за собой появление в вытравленном рисунке булата концентрических очертаний и часто замкнутых фигур». Другими словами, Н. Т. Беляев утверждает, что благодаря дендритной ликвации углерода булатный узор появляется в слитке еще до того, как его подвергают ковке. Поскольку в данном случае выявление дендритной структуры связано с участками, обогащенными или обедненными углеродом, оно должно происходить и после высокотемпературной деформации металла.

Экспериментальной проверкой этой теории булатного узора занялся другой ученик Д. К. Чернова — Н. И. Беляев. Он проковал в пластины два одинаковых куска стали, содержащей 1,35% углерода, и подверг их длительному отжигу. После этого один кусок ковался при температуре 65°, а другой—при 1000°С. Оба шлифа были протравлены на дендритную структуру. При высокотемпературной ковке дендритная структура выявлялась после закалки образцов. Это дало основание Н. И. Беляеву связать булатный узор с дендритной ликвацией углерода и подтвердить теорию своего учителя.

В одном Д. К. Чернов и Н. И. Беляев были совершенно правы: они открыли секрет так называемого «литого булата» Аносова. Дело в том, что в трудах П. П. Аносова есть описание способа производства стали, которая изготовлялась в тиглях путем переплава предварительно науглероженного железа и отливалась в формы. Литая сталь подвергалась длительному отжигу без доступа воздуха в специальных тщательно закупоренных ящиках. Аносов скрупулезно исследовал режимы отжига и установил, что правильно отожженная сталь имела чистую поверхность без следов окалина, хорошую вязкость и крупнозернистое строение. На поверхности стали были видны узоры. Аносов писал: «Отожженная сталь, как имеющая узоры, подобно булатным, должна нести и одинаковые с ней названия. Для отличия от настоящего булата я называю ее литым булатом».

Таким образом, узоры, получающиеся после длительного отжига металла, безусловно связанные с дендритной ликвацией углерода, Аносов не считал «настоящими булатными». К аналогичным выводам пришел впоследствии и Н. И. Беляев: «Будучи далек от мысли воспроизвести лучший коленчатый узор индийских мастеров, я тем не менее даю образы того, как, видоизменяя ковку, можно видоизменять узор, делая его более красивым и более совершенным в механическом смысле». Итак, настоящих булатных узоров и Н. И. Беляеву воспроизвести не удалось.

Подчеркнем: работы Д. К. Чернова, Н. Т. Беляева и Н. И. Беляева по кристаллизации стали и дендритной ликвации примесей заложили основу современной теории кристаллизации и показали ее роль в обеспечении качества стали. Позднее мы увидим, что на основе исследований булата были разработаны и другие важные положения металлургии.

Теперь хорошо известно, что дендритная структура наиболее хорошо выявляется в сталях, имеющих значительное содержание углерода (более 0,8%) или легирующих элементов. В литом металле она проявляется сравнительно легко, в деформированном — только продолжительным травлением специальными реактивами. Между тем имеется много свидетельств тому, что булатные узоры выявляются весьма слабыми травителями, в том числе и такими, как соки растений и плодов. Даже чистая вода в присутствии воздуха в течение нескольких минут выявляла булатный узор. Поэтому легкость проявления узора всегда считалась отличительным признаком булата. Мы уже знаем, что в лучших булатах узоры вообще выявлялись непосредственно после полировки.

Надо отдать должное Д. К. Чернову, он первым строго научно объяснил природу булата и связал ее со свойствами этой удивительной стали. Он считал, что при затвердевании сталь распадается на два различных соединения железа с углеродом, которые «играют очень важную роль при назначении такой стали на клинки: при закалке более твердое вещество сильно закаливается, а другое вещество остается слабо закаленным, но так как оба вещества в тонких слоях и фибрах тесно перевиты одно с другим, то получается материал, обладающий одновременно и большей твердостью, и большей вязкостью. Таким образом, оказывается, что булат несравнимо выше лучших сортов стали, приготовленной иными способами».

Перламутровая теория булата

Первые исследования микроструктуры литого металла привели Д. К. Чернова к открытию закономерностей кристаллизации стального слитка. Это являлось крупным научным достижением, открывающим путь к получению качественных сталей. Все же Д. К. Чернов и Н. Т. Беляев в конце концов поняли, что дендритная теория булатного узора несостоятельна.

Подвергая ковке сталь, нагретую до различных температур, Чернов устанавливает связь между температуройковки, микроструктурой стали и ее механическими свойствами. Он открывает критические температурные точки, переход через которые существенно изменяет строение и свойства стали. Одна из этих точек, обозначаемая им буквой а, соответствовала темно-вишневому цвету нагретой стали, вторая точка b — красному цвету каления.

Вот как Д. К. Чернов характеризует эти замечательные точки: «Сталь, как бы тверда она ни была, будучи нагрета ниже точки «а», не принимает закалки, как бы быстро ее ни охлаждали, напротив того, она становится значительно мягче и легче обрабатывается пилюю». Таким образом, критическая точка «а» характеризует минимальную температуру, от которой сталь начинает

принимать закалку. И напротив, «сталь, будучи нагрета ниже точки «b», не изменяет своей структуры — медленно или быстро после того она охлаждается. Как только температура возвысится до точки «b», масса стали быстро переходит из зернистого (или, вообще говоря, кристаллического) в аморфное (воскообразное) состояние». «Аморфная» — это мелкозернистая структура стали, которая надежно обеспечивает ей высокие свойства.

Открытие критических точек превращения стали сделало возможным научно объяснить процессы, происходящие в стали при ее закалке и отпуске. Изучение под микроскопом микроструктуры отожженной и закаленной стали приводит Д. К. Чернова и Н. Т. Беляева к новой гипотезе, объясняющей природу булата. Теперь они представляют булатный узор как «видимый простым глазом перлит». Чтобы понять, что такое перлит и каким образом он может быть связан с булатным узором, необходимо более подробно ознакомиться с превращениями в железоуглеродистых сплавах при их нагревании и охлаждении.

Железо существует в двух полиморфных модификациях: α -железо, которое устойчиво при температурах ниже 910°C и выше 1390°C и γ -железо, устойчивое в интервале температур 910°C — 1390°C . Кристаллическая решетка α -железа — объемно-центрированный куб, а γ - железа — гранецентрированный. Изменение кристаллической решетки при нагревании и охлаждении называется полиморфизмом. Открытие Д. К. Черновым в 1868 году критических точек превращения стали есть не что иное, как открытие полиморфизма железа.

Мы уже говорили о том, что железо с углеродом образует химическое соединение—цементит (карбид железа). В середине прошлого века английский ученый У. Робертс-Остен показал, что углерод способен также растворяться в твердом железе. В честь его твердый раствор углерода в γ - железе назвали аустенитом. Твердый раствор углерода в α -железе называется ферритом. И в аустените, и в феррите углерод растворим в ограниченных количествах.

С понижением температуры падает растворимость углерода в аустените и феррите, и избыточный углерод выделяется из раствора в виде цементита. В связи с этим Д. К. Чернов указывал, что критические точки превращения аустенита в феррит при охлаждении стали и феррита в аустенит при ее нагревании зависят от содержания в стали углерода. Этим самым он впервые дал представление о диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов. В дальнейшем благодаря работам А. П. Ле-Шателье (1850—1936), А. А. Байкова (1870—1946), Н. Т. Гудцова (1885—1957) и других ученых эта диаграмма была построена.

Что же такое диаграмма состояния? Диаграмма состояния — это графическое изображение областей устойчивости фаз в зависимости от температуры и состава сплава. На рис. 2 показан левый нижний угол

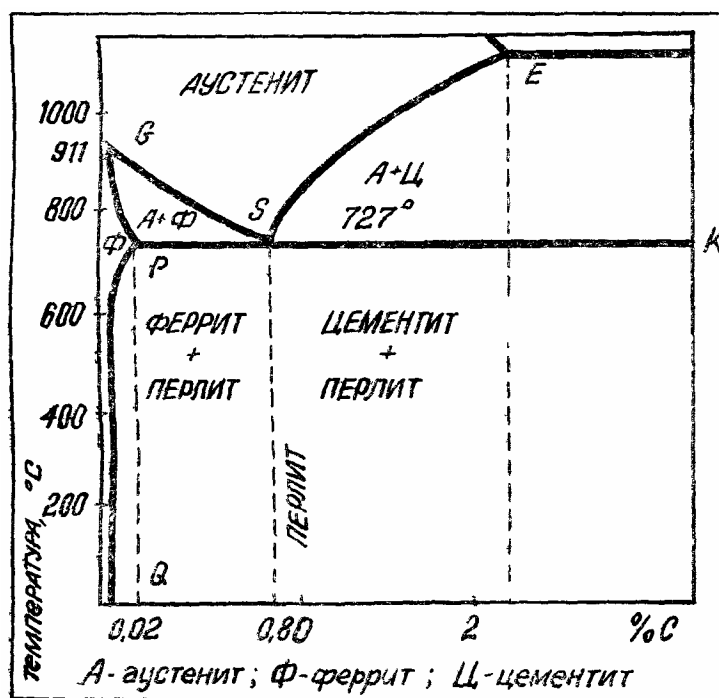


Рис. 2 Диаграмма железо-углерод

диаграммы железо—углерод. По оси ординат отложена температура сплава, по оси абсцисс — содержание (концентрация) углерода в железе.

Рассмотрим подробнее представленную часть диаграммы. Линия GS ограничивает область существования аустенита. Точки этой линии показывают начало превращения аустенита в феррит при охлаждении сплава и окончание превращения феррита в аустенит при нагревании. С увеличением концентрации углерода в аустените до 0,8%, температура начала его превращения в феррит падает, и по достижении этой концентрации (точка S) она соответствует 727°C. Поэтому при охлаждении сплавов с содержанием углерода более 0,02% и менее 0,80% в интервале температур 911—727° происходит превращение аустенита в феррит, а при нагревании—феррита в аустенит. Таким образом, в области между линиями GS и PS структура сплавов всегда двухфазная, состоящая из феррита и аустенита. Аустенит полностью превращается в феррит при охлаждении сплава ниже температуры 727°C (линия PS). Эта же температура определяет начало превращения феррита в аустенит при нагревании сплава.

В правой части диаграммы линия SE также ограничивает область существования аустенита. Точки этой линии показывают, что с падением температуры растворимость углерода в аустените уменьшается. С понижением температуры от 1147 до 727°C предельная концентрация углерода в аустените изменяется от 2,11 до 0,8%. Поэтому при охлаждении сплавов указанных составов до температур ниже 1147°C из аустенита выпадает цементит. В области между линиями SE и SK структура сплавов двухфазная, состоящая из аустенита и цементита.

При температуре 727°C концентрация углерода в аустените определяется точкой S на линии PSK и соответствует 0,8%. Предельная концентрация углерода в феррите при этой же температуре определяется точкой P на линии

PSK, она соответствует всего 0,02% углерода. Следовательно, аустенит, содержащий 0,8% углерода, при охлаждении сплава до 727°C превращается в феррит, содержащий 0,02% углерода. Избыток углерода выделяется из аустенита в виде цементита. Таким образом, при температуре 727°C аустенит распадается одновременно на две фазы: феррит и цементит. Эти фазы выделяются в виде механической смеси. Превращение аустенита в феррито-цементитную смесь при 727°C характерно для всех сталей.

Распад аустенита при 727°C на феррит и цементит называется эвтектоидным превращением, а получающаяся в результате распада феррито-цементитная структура — эвтектоидом. Невооруженным глазом увидеть феррито-цементитную смесь невозможно. Под микроскопом, при увеличении в десятки и сотни раз, двухфазная структура эвтектоида напоминает перламутр, сложенный из светлых пластинок феррита, чередующихся с темными пластинками цементита. Поэтому двухфазная структура эвтектоида была названа перлитом.

Стали, содержащие углерода до 0,8%, называются доэвтектоидными. После медленного охлаждения их структура состоит из феррита и перлита. Стали, содержащие углерода более 0,8%, называются заэвтектоидными. Их структура после медленного охлаждения состоит из перлита и включений цементита. В стали, содержащей 0,8% углерода, весь аустенит превращается в перлит, поэтому после медленного охлаждения структура такой стали будет представлять собой пластинчатый перлит. Такая сталь называется эвтектоидной.

Если сравнить пластинчатый перлит с узором клинка кинжала, сделанного из аносовского булата (см. фото 3), то мы увидим: внешнее сходство поразительное! Теперь совершенно понятно, почему Д. К. Чернов и Н. Т. Беляев пытались связать булатный узор с перлитной структурой стали. Н. Т. Беляев даже пробовал классифицировать перлит по признакам булатного узора...

Перлитом можно не только объяснить узор булата, но и обосновать его свойства. Дело в том, что феррит является пластичным и вязким материалом, а цементит — твердым и прочным. Так же как и булат, перлит как будто совмещает в себе прямопротивоположные качества: пластичность и твердость, вязкость и прочность!

Итак, Д. К. Чернов и Н. Т. Беляев выдвинули гипотезу: булатный узор — перлит, полученный каким-то неизвестным способом, обеспечивающим рост пластинок феррита и цементита до таких размеров, что они видны невооруженным глазом. Однако никакого экспериментального материала, связывающего перлит с булатным узором, получить не удалось. Металлурги ни разу не получали перлита, в котором бы величина пластинок феррита и цементита была бы соизмерима с булатным узором.

В связи с этим Н. Т. Беляев выдвигает новую гипотезу: булатный узор является результатом структурного равновесия между ферритом и цементитом. Поводом для этой гипотезы послужили опыты металлурга Г. Геренса, который

обнаружил в перлите белых чугунов структурно-свободный цементит. Рассматривая условия, предложенные Аносовым для отжига «литых булатов», Н. Т. Беляев находит, что они в точности совпадают с опытами Геренса. Гипотезу Н. Т. Беляева поддерживает известный металлург начала XX века В. П. Ижевский.

Нагревом заэвтектоидной стали (1,4—1,8 % углерода) выше перлитного превращения (727°C) и длительной выдержкой при температурах ниже перлитного превращения (720°—700°C) удается получить резкую ликвацию углерода. В стали появляются участки структурно-свободного феррита и групповые скопления коагулированных (сгруппировавшихся) частиц цементита.

Казалось бы, металлурги наконец-то получили ключ к разгадке тайны булатных узоров. Но, увы, вскоре сами авторы гипотезы признают ее несостоятельность: хорошо известно, что булатные узоры сохраняются и после закалки стали в то время, как структура «феррито-цементитного узора» после закалки на мартенсит традиционными способами сохраниться не может. Чтобы это хорошо понять, необходимо сделать еще один экскурс в металловедение и познакомиться с основами теории закалки и отпуска стали.

Что же происходит при закалке стали? Свойства стали зависят от ее структуры. Оказывается, структура стали данного химического состава изменяется после нагревания и последующего охлаждения с той или иной скоростью. При нагревании сплава железо—углерод до температур, соответствующих области выше линии GSE (см. рис. 2), он приобретает аустенитную структуру. При разных скоростях охлаждения аустенита получают разные структуры охлажденной стали.

Если эвтектоидную сталь (0,8%, углерода) медленно охлаждать от температур выше 727°C, то произойдет полный распад аустенита с образованием пластинчатого перлита. Распад аустенита можно условно разделить на следующие процессы:

1. Превращение аустенита в феррит. Этот процесс состоит в перегруппировке атомов железа таким образом, что решетка гранцентрированного куба γ -железа переходит в решетку объемно-центрированного куба α -железа.

2. В результате смещения атомов углерода и пересыщения этим компонентом твердого раствора из него выделяются частицы цементита (карбида железа).

3. Выделившиеся частицы цементита растут и образуют прослойки в феррите.

Как мы уже говорили, после медленного охлаждения углеродистая сталь имеет структуру пластинчатого перлита, хорошо видимую под микроскопом при увеличении в 100 раз. При ускорении охлаждения до 50° в секунду третий процесс превращения не успевает закончиться, поэтому размеры пластинок цементита уменьшаются, и они становятся различимы только при увеличениях в тысячи раз. Такая структура в честь английского ученого конца XIX—начала

XX века Г. К. Сорби была названа сорбитом.

При ускорении охлаждения до 100° в секунду полностью успевает завершиться только второй процесс превращения, а третий останавливается в самом начале. Теперь уже пластинки цементита видны лишь при громадных увеличениях в десятки тысяч раз. Они различимы только под электронным микроскопом. Такая структура в честь французского химика Л. Ж. Трооста (XIX—начало XX века) названа трооститом.

Наконец, при скорости охлаждения аустенита больше критической (порядка $150\text{—}200^\circ$ в секунду) уже и второй и третий процессы распада не успевают совершиться; завершается лишь перегруппировка атомов железа, а углерод вынужденно остается в твердом растворе α -железа, сильно пересыщая его. Такая структура в честь немецкого металловеда А. Мартенса (вторая половина XIX—начало XX века)" названа мартенситом. Мартенситной структуре соответствует наиболее высокая твердость и прочность стали. Таким образом, если перлит, сорбит и троостит—двухфазные структуры, представляющие собой смесь феррита и цементита, то мартенсит— структура однофазная, это твердый пересыщенный раствор углерода в α -железе.

Закалка стали состоит в ее нагреве на $30\text{—}50^\circ\text{C}$ выше температуры начала устойчивости аустенита и быстром охлаждении. Обычно при закалке стремятся получить мартенситную структуру. Для устранения больших напряжений в стали, получающихся под действием резкого охлаждения при закалке, сталь после закалки подвергают отпуску. Отпуск стали заключается в ее нагреве до температур ниже 727°C и последующем охлаждении. При отпуске структура стали из мартенсита закалки переходит в мартенсит отпуска, троостит отпуска или сорбит отпуска. Пластичные и вязкие свойства стали после отпуска улучшаются, а твердость и прочность падают.

Совершенно понятно, что булатные клинки, знаменитые своей твердостью и режущими свойствами, по крайней мере в поверхностных слоях закаливались на мартенсит. Под микроскопом мартенсит представляет собой игольчатую структуру. Иглы мартенсита располагаются закономерно, образуя углы в 60 или 120° . Поэтому после закалки булата пластинчатая структура перлита сохраняться не может. Все же, как будет показано в дальнейшем, на основе феррито-мартенситной структуры можно получать композиционные стали с высокими свойствами.

Выдающийся ученик и последователь Д. К. Чернова в области металловедения и термообработки Н. И. Беляев хорошо понимал недостатки теории, объясняющей булатный узор «структурным равновесием феррита и цементита». Он писал: «Знакомство наше с микроструктурой стали не только не помогало, а скорее мешало разобраться в этом интересном вопросе, так как приводило или к абсурдному объяснению узора булата развитием пластинчатого перлита до размеров, видимых простым глазом (профессор Чернов и др.), или к объяснению узора булата с точки зрения структурного равновесия».

В 1911 году Н.И. Беляев, наиболее обстоятельно изучивший к этому времени

вопрос о булате, приходит к совсем пессимистическим выводам: «Грустно сознавать, что современная наука не вооружена еще настолько, чтобы ясно и определенно ответить на вопросы: что такое булат с его неизменным спутником — узором и чем, собственно, объясняются те высокие механические свойства, какими обладают изделия, изготовленные из булата...».

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ТРЕТЬЕ РОЖДЕНИЕ БУЛАТА

Новое — это хорошо забытое старое.

Поиск продолжается

Юрий Иванович Люндовский — коренной житель Златоуста. На плане дома, который в 1837 году перестраивал его дед, мастеровой казенных заводов Григорий Люндовский, стоит подпись самого «управителя Златоустовскими заводами П. Аносова». Подпись скреплена печатью заводской конторы. Печать была сделана из горного хрусталя.

Юрий Иванович начал трудовую деятельность на Златоустовских заводах в 1931 году. Будучи главным металлургом завода, он работал в здании с медной доской у входа: «Центральная заводская лаборатория. Основана в 1836 году П. П. Аносовым». По чугунным ступенькам, по которым не раз ходил изобретатель русского булата, он ежедневно подымался к себе в кабинет.

Со школьной скамьи Люндовский мечтал найти утерянные секреты и выплавить узорчатую сталь. В его семье хранилась железная трость деда — необыкновенно легкая, витая, сделанная из железных полос, заготовленных для производства сварочного булата. Он собрал и хранил все те немногочисленные образцы русского булата, которые можно было найти на заводе.

Ю. И. Люндовский в конце 30-х годов повторил опыты Д. К. Чернова и добился путем замедленного охлаждения слитка получения крупных дендритов в малом объеме металла. Умеренно холодная ковка таких слитков позволяла получать слабо проявляющиеся узоры.

В 20—30-х годах тщательно изучал материалы, относящиеся к производству булата, племянник Павла Николаевича Швецова — Василий Николаевич, который с 1896 года служил мастером фасонно-литейного цеха. Он был высокообразованным человеком, увлекался историей уральских заводов, выплавкой тигельной стали, производством огнеупоров. Сохранились печатные работы В. Н. Швецова, посвященные этим вопросам.

Любопытен такой факт. Николай Швецов, который работал с Аносовым, был безграмотным крепостным крестьянином. Его сын — Павел Швецов окончил начальную горнозаводскую школу, что по тем временам считалось большим везением. Василию Швецову, в 1904 году закончившему Уральское горное училище, Советская власть дала возможность получить экстерном высшее образование — он был инженером-металлургом. А его внук Сергей Швецов, ныне научный работник, готовится к защите кандидатской диссертации.

В 20-е годы металлургия окончательно формируется в самостоятельную науку. В технической литературе появляется много статей, посвященных теоретическому обоснованию технологии производства легированных сталей, их термической обработке. В это время вновь пробуждается интерес к булату,

появляются новые данные о его химическом составе, макро- и микроструктуре, делаются многочисленные попытки получить сталь с узорчатой структурой.

Ю. И. Люндовский исследует имеющиеся у него образцы булата, полученного П. Н. Швецовым. Он изучает его микроструктуру, устанавливает, что она характеризуется крупными включениями цементита высокой твердости, подтверждает, что в стали мало серы и других вредных примесей. На заводе еще можно было найти достаточно чистое пудлинговое железо, древесноугольный чугуи и серебристый графит. Возлагаются надежды получить узорчатую сталь путем сплавления этих компонентов по режимам, описанным Аносовым. Многочисленные опыты к успеху не приводят. Правда, удалось овладеть приемамиковки булата и повторить их на обычных сталях. Узор почти не проявляется, но свойства изделий, особенно твердость и прочность, ощутимо повысилась.

В журнале «Уральский техник» за 1924 год была напечатана статья В. Н. Швецова «Литой булат». В ней описываются способы получения узорчатой стали. Автор считает, что лучшие узоры получаются при сплавлении железа и чугуна с небольшими добавками... серебра. Большое внимание уделено охлаждению слитка: по окончании плавки тигель, вынутый из печи, рекомендуется ставить в горячую золу, засыпать его ею со всех сторон, за исключением крышки, и оставлять до полного охлаждения. Описываются приемыковки булата, обеспечивающие, по мнению автора, узор на клинке в виде елочки. Исследования образцов булатных изделий в статье не приводятся.

В 20-е годы в Златоусте стремился получать булат горный инженер П. А. Иванов. В его опытах принимал участие старейший мастер завода К. К. Моисеев. В записках В. Н. Швецова отмечается, что Иванов подгонял состав булата под «швецовский», вводя в шихту соответствующее количество марганца и хрома. В 30-е годы делались многочисленные попытки получить булат на основе работ В. Н. Швецова, П. А. Иванова, К. К. Моисеева. Ни одна из них успехом не завершилась.

В 1949 году Златоуст праздновал 150-летие со дня рождения П. П. Аносова; в городе был заложен ему памятник. Теперь на высоком пьедестале из красноватого полированного гранита, обрамленного литым орнаментом, возвышается бронзовая фигура величайшего русского металлурга.

Тогда, в 1949 году, в связи с знаменательной датой состоялось Всесоюзное совещание металлургов. Участники совещания посетили бывшую оружейную фабрику. В их присутствии испытывались современные шашки и сохранившиеся булатные клинки. Испытание завершилось не в пользу булата... Все же это событие вновь вызвало интерес к легендарной стали. Златоустовские металлурга твердо решили, что наступила пора объяснить свойства булата и расшифровать природу его удивительных узоров.

Как профессор Виноградов прочитал Аносова

Решить вековую загадку булатного узора взялся Игорь Николаевич Голиков — начальник центральной лаборатории Златоустовского металлургического

завода. Он создал творческую группу, в которую вошли П. В. Васильев, М. Ф. Лонгинов, Ю. И. Люндовский и автор этих строк. Выплавлять сталь было решено в тигле индукционной высокочастотной печи. Этот современный агрегат достаточно хорошо моделировал тигельный процесс, который П. П. Аносов использовал для получения булата. В первых опытах было решено воспользоваться рекомендациями изобретателя русского булата и как можно точнее повторить его эксперименты.

Нам было понятно, что свойства булата определяются содержанием углерода в стали и его распределением в железе. Поэтому шихта составлялась из содержащего мало вредных примесей мягкого железа (0,03% углерода) и серебрянистого графита.

Во время плавки поддерживался «большой жар» — расплав нагревали до 1600—1630°C. При таких температурах обеспечивалась высокая степень насыщения металла углеродом. Готовую сталь разливали в чугунные формы. Слиток охлаждали очень медленно. Многократно добиваясь крупной кристаллизации и прекрасно выраженной дендритной структуры слитка, мы ни разу не получали булатного узора. Чего-то в нашей технологии явно не хватало, но чего? Для ответа на этот вопрос было решено еще раз внимательно изучить всю имеющуюся литературу о булате. И вот что обнаружилось.

В 1919 году в Днепропетровском горном институте защищалась необычная диссертация: «Мягкий булат и происхождение булатного узора». Соискатель, уже немолодой человек, профессор А. П. Виноградов излагал свою теорию природы узорчатой стали. Материалы диссертации были опубликованы в 1928 году в «Научных записках кафедры металловедения и термической обработки металлов». В связи с тем, что к 50-м годам этот сборник стал библиографической редкостью, труд ученого остался малоизвестным.

А. П. Виноградову особыми приемами деформации стали удалось получить на основе дендритной ликвации углерода волокнистую неоднородность, проявляющуюся в виде узора. Однако узор этот оказался не сопоставимым с булатным, поскольку был выражен очень слабо.

«Следует признать,— писал А. П. Виноградов,— что хотя химическая и структурная неоднородность является неизбежной принадлежностью всякой литой стали, однако булаты резко отличаются особенно ярко выраженной химической и структурной неоднородностью». Отсюда вывод: при производстве булатной стали химическая неоднородность подчеркивалась и фиксировалась принципиально другими приемами. Талантливый ученый впервые замечает «эти приемы» в опубликованных трудах П. П. Аносова.

Внимательно изучая «Журнал опытов по приготовлению литой стали и булатов с краткими замечаниями», А. П. Виноградов обратил внимание на то обстоятельство, что при получении булатов металл часто недорасплавлялся. В примечаниях Аносов так и пишет: «не все расплавлялось» или — «несовершенно расплавилось».

Тщательно анализируя условия проводимых П. П. Аносовым плавков булатной стали, А. П. Виноградов убеждается, что основной их особенностью

является науглероживание кусочков (обсечков) железа в тигле. Часть из них, взаимодействуя с графитом и печными газами, очень сильно науглероживалась и превращалась в малоуглеродистый чугун. Чугун, температура плавления которого 1200—1300°C, плавился и стекал каплями на дно тигля. Таким образом, в нижней части тигля скапливался жидкий чугун, а в его верхней части твердые обсечки мягкого низкоуглеродистого железа, температура плавления которых 1500—1535°C.

Нагрев металла в условиях тигельной плавки во времена П. П. Аносова осуществлялся до температур не выше 1460—1480°C, поэтому обсечки мягкого железа, погружаясь в конце концов в жидкий чугун, расплавиться не могли. Они могли лишь в твердом состоянии растворяться в чугуне. Плавка заканчивалась в тот момент, когда частички эти полностью в чугуне еще не растворились. Отсюда легко сделать вывод, что П. П. Аносов достигал большой физической неоднородности непосредственно при плавке стали за счет сохранения в основной массе высокоуглеродистого сплава частиц не науглероженного и поэтому недорасплавившегося твердого железа.

Интересно, что П. П. Аносов понимал эти особенности технологии плавки булата. Он писал: «Искусство мастера в сем случае состоит в том, чтобы остановить работу в то мгновение, когда последний кусочек обсечков начинает расплавляться...» И далее: «При разбитии медленно охлажденных в печи тиглей сплавки казались как бы не совершенно расплавленными, ибо куски железа в некоторых местах сохранили первоначальную форму». В свете новой теории булатного узора эти замечания приобретают глубокий смысл.

Так как прекращение плавки у П. П. Аносова происходило в тот момент, когда в жидкость погружались твердые частицы железа, то последующее понижение температуры при охлаждении сплава в тигле приводило к кристаллизации высокоуглеродистой стали на имеющихся частицах железа, как на готовых центрах. Охлаждение стали в тигле, в котором она плавилась, как бы фиксировало полученную при плавке неоднородность. Недаром на основании своих опытов П. П. Аносов полагал, что переливание из тигля в изложницу порти г сталь.

Более того, по его наблюдению медленное охлаждение стали в тигле способствовало развитию кристаллизации и образованию узоров. Таким образом, процесс плавки и кристаллизации стали у П. П. Аносова неизбежно обуславливал крайнюю химическую, а следовательно, и структурную неоднородность слитка. Деформация при ковке этой неоднородной структуры и являлась причиной булатного узора.

К сожалению, на перечисленные особенности технологии производства булатной стали не обратил никакого внимания ни один из исследователей работ П. П. Аносова. Не указывал на них также никто из златоустовских мастеров, которые позже плавил булатную сталь. Естественно, что сам П. П. Аносов, не владея современными методами исследования металлов, не мог должным образом оценить степень влияния приведенных выше, на первый взгляд второстепенных, факторов на рисунок булата и его свойства.

После П. П. Аносова производство настоящих булатных клинков на Златоустовском заводе, как уже было отмечено, вскоре прекратилось. Д. К. Чернов объяснял это чрезвычайной сложностью процесса. «Производство узорчатой стали,— писал он,— требует усиленного постоянного наблюдения и преданности делу. В производстве булата очень ясно обнаружилось, какой капризный материал—сталь: малейшее несовершенство в процессе или нечистота материала — и уже сталь получается хуже, с мелким узором». А. П. Виноградов полагал, что причиной прекращения производства булата могло быть несоблюдение основного условия его получения: «прекращать процесс плавления, не дожидаясь полного растворения последних кусочков железа».

Действительно, П. П. Аносов, составив подробное описание приемов приготовления слитков булатной стали, не обратил должного внимания на момент прекращения плавки. Все последующие металлурги, плавившие булат после П. П. Аносова, не могли соблюсти это необходимое условие, обеспечивающее получение узорчатой стали. Поэтому они получали булат эпизодически и, как правило, с очень мелким узором.

Несмотря на то что А. П. Виноградов разработал оригинальную теорию, достаточно убедительно объясняющую природу химической и физической неоднородности булатной стали, его экспериментальные работы были посвящены главным образом вопросу формирования булатных узоров на основании так называемой «полосчатой структуры» низкоуглеродистой стали.

Металлургам давно известно, что после прокатки стали при низких температурах часто получают так называемую «полосчатую структуру», состоящую из участков перлита, чередующихся с видимыми простым глазом полосками чистого железа (феррита). А. П. Виноградов показал, что после низкотемпературной прокатки листовой стали, содержащей 0,30—0,35% углерода, и продолжительного отжига ее при температуре 800—900°C с последующим медленным охлаждением в печи полосчатая структура проявляется очень хорошо. Полосчатость в этом случае получается в виде параллельных слоев почти чистого феррита и углеродистой стали с 0,6—0,7% углерода. Такая структура стали, по утверждению автора, имитирует «мягкие булаты» Аносова.

Даже при небольшой деформации слоев полосчатой структуры они могут стать волнообразными плоскостями с различной кривизной волн, а главное — могут значительно отклоняться от параллельности к поверхности образца. При достаточной толщине слоев отшлифованные образцы могут давать видимую простым глазом картину разнообразных узоров, характерных для булата. Если такой образец мысленно разрезать плоскостями, параллельными основанию, то они, подобно горизонталям при проектировании холмистой местности на карту, должны образовывать узор. Если слои приближаются к параллельным плоскостям, но не параллельны плоскости шлифа, то получается муаровый рисунок; если же они изгибаются в виде холма или углубления — ониксовидный. Применяя специальные приемы деформации стали — надрубь, разнообразную насечку и осадку,— А. П. Виноградов получал почти все

известные рисунки булата.

Несмотря на то что А. П. Виноградов впервые экспериментально показал приемы получения булатного узора и выдвинул убедительно обоснованную теорию, объясняющую природу неоднородности булатной стали, ему не удалось приготовить настоящих булатов на основе высокоуглеродистых сплавов, у которых бы после закалки сохранились узоры. Последнее обстоятельство послужило поводом к критике взглядов А. П. Виноградова.

С целью подтверждения своих предположений А. П. Виноградов провел ряд плавов, в ходе которых путем присадки кусков железа в жидкую ванну пытался создать условия для получения физически неоднородного металла; но результаты этих опытов не были настолько выразительными, чтобы убедить в его правоте. Поэтому видные металлурги считали, что «нерасплавленные кристаллы, очевидно, не являются условием, необходимым для создания неоднородности жидкости», и что теория А. П. Виноградова применима скорее к сварочному булату, чем к литому.

Вутцы XX столетия

Итак, А. П. Виноградов впервые разглядел в булатном узоре физическую неоднородность стали. Не может быть сомнений в том, что П. П. Аносов добивался крайней неоднородности слитка за счет недорасплавившихся частиц низкоуглеродистого железа. С позиций современной науки такую структуру можно назвать неравновесной. А как же в древности получали неравновесную структуру вутца?

П. П. Аносов был прав, предполагая, что древние мастера изготавливали булат в специальных горнах, позволяющих совмещать процессы восстановления руды, науглероживания железа и его сплавления. Частицы восстановленной железной губки, по всей вероятности, науглероживались с поверхности окисью углерода и превращались в высокоуглеродистую сталь, а может быть, даже в чугун. Вместе с тем сердцевина частей сохранялась железной, ненауглероженой. Поскольку температура горна лежала между точками плавления железа и стали, то стальная оболочка частиц плавилась, и они соединялись в одно целое, образуя полусплавившийся слиток, макроструктура которого напоминала пирог с изюмом: зерна мягкого железа в окружении высокоуглеродистой стали.

Описанный выше способ получения неравновесной структуры слитка не единственный. Известно, что индийцы знали тигельный процесс задолго до европейцев. Они владели также сыродутным процессом приготовления железа, которое содержало не более одной-двух десятых процента углерода. Расплавить такое железо в тиглях они не могли. С другой стороны, они получали чугун, который легко плавился в тиглях, установленных в горн.

Железо — пластичный, упругий и вязкий металл, но недостаточно твердый. Чугун — твердый материал, но совсем не пластичный, хрупкий, его нельзя деформировать. Разве не напрашивается мысль: смешать кусочки чугуна и железа и расплавить их в тигле?

Теперь представим себе, что смесь кусочков чугуна и железа помещена в тигель и нагревается до температуры 1350—1380°C. В этом случае чугун в начале процесса плавился, а мягкое железо оставалось твердым. По мере нагревания сплава углерод из чугуна диффундировал (перемещался) в железо, чугун становился все более и более тугоплавким и в конце концов вся масса металла затвердевала. Естественно, что готовый сплав и в этом случае получался неоднородным, состоящим из двух фаз: высокоуглеродистой стали, в которую превратился чугун, отдавая углерод, и частиц железа, поверхность которых науглерожена.

Между тем такой способ получения стали имел существенный недостаток: чугун затвердевал быстрее, чем происходила сварка между науглероженными кусочками железа и чугуна, поскольку между ними трудно было обеспечить хороший контакт. В результате сплошность металла послековки могла нарушаться трещинами. Можно ли этого избежать? Да, можно, если плавить в тигле сначала один чугун, и только после его расплавления добавлять в жидкий сплав мелкие кусочки железа. В этом случае контакт достигается идеальный, и диффузия углерода из чугуна в железо будет идти гораздо быстрее. Возможно, что в древние времена в Индии и других странах Востока таким путем получали знаменитые вутцы.

В Европе значительно позднее пришли фактически к такому же способу получения стали. Так, например, Реомюр еще в 1722 году высказывал идею о возможности превращения мягкого железа в сталь путем погружения его в жидкий чугун. В это время Европа еще не знала ни тигельного процесса, ни отражательных печей. Поэтому эта идея была осуществлена на Западе только в 1840—1860 годах братьями Эмилем и Пьером Мартенами, которые путем сплавления чугуна и лома впервые получили сталь на поду большегрузной отражательной печи. 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.

«Неравновесная» теория булатного узора объясняет также, почему после П. П. Аносова практически никто не мог получить лучшие сорта булата. «Сильный» жар во время плавки, им рекомендуемый, стал своего рода психологическим барьером, который не смогли перешагнуть его последователи. Все дело в том, что «сильный жар» в отражательной печи Сименса, в которой впоследствии плавил тигельную сталь, соответствовал температуре 1500—1530°C; у Аносова же он не достигал этих температур. Таким образом, исследователи, повторявшие опыты Аносова, расплавляли шихту при таких температурах, которые не могли обеспечить неоднородность: чугун и железо полностью расплавлялись, и это приводило к получению обычной (гомогенной) углеродистой стали.

Что касается медленного охлаждения слитка, то здесь было заложено рациональное зерно. Этот фактор, с одной стороны, благоприятствовал

достижению нужной неоднородности, а с другой — создавал условия для дальнейшей диффузии углерода, что, в свою очередь, способствовало формированию зоны постепенного изменения концентрации этого элемента при переходе слоев высокоуглеродистого металла в слои низкоуглеродистого. Такое строение обеспечивало уменьшение напряжений при деформации и нагреве стали и исключало появление в металле разрывов и трещин.

Кстати, теперь ясно, что сущность структуры настоящего булата и сварочного булата фактически одна и та же. И все-таки свойства литого булата со сварочным несравнимы. У литого булата они должны были быть значительно выше. Это легко объяснить прежде всего тем, что содержание углерода в литом булате (1,3—2,0%) больше, чем в сварочном (0,6—0,8%). Кроме того, в литом булате, как мы теперь знаем, наблюдается более постепенный переход от высокоуглеродистых слоев к низкоуглеродистым. Очевидно, чем менее резок этот переход, тем выше механические свойства булатного клинка.

Почему же А. П. Виноградов, блестяще разгадавший секрет получения литой узорчатой стали, не сумел экспериментально воспроизвести аносовские плавки и получить высокоуглеродистый булат? По всей вероятности, он не имел тигельной печи. А в другом агрегате создать условия для науглероживания железа до чугуна и остановить плавку в нужный момент не так-то просто. Для этого требуется искусство мастера. Недаром даже соратник изобретателя русского булата Н. П. Швецов не мог повторить полностью результаты Аносова.

В свете «неравновесной» теории булата выбранная нами для эксперимента тигельная индукционная сталеплавильная печь оказалась самым удачным агрегатом для получения булатной стали. В такой печи можно поддерживать температуру сплава на любом необходимом уровне и плавить нужную массу металла.

Было решено приготовить на техническом железе и графите синтетический чугун, содержащий как можно менее вредных примесей. Предполагалось чугун расплавлять в тигле индукционной печи и погружать в него кусочки малоуглеродистого железа. Температура в печи должна была поддерживаться на уровне 1460°C, чтобы железо не плавилось, а лишь растворялось в жидком чугуне. Наши первые эксперименты полностью подтвердили теорию А. П. Виноградова и окончательно установили, что при искусственно созданной неоднородности в жидкой или полужидкой стали можно получить слиток высокоуглеродистого сплава с включениями частиц малоуглеродистого железа. Появление булатного узора после деформации такого слитка и получение отличительных свойств, приписываемых булатам, теперь сомнений не вызывало. Надо было только хорошо отработать все детали технологии плавки. Пришлось провести немало опытов, отлить десятки слитков, чтобы научиться управлять процессом, задавать и выдерживать требуемый химический состав стали.

Краткие особенности технологии производства булата в индукционной

сталеплавильной печи оказались следующими. В печь загружается железо или малоуглеродистая сталь в количестве 12—24 кг, плавится и подогревается до температуры 1650°C. После подогрева расплав раскисляется кремнием и алюминием. Затем металл науглероживается графитом, в результате чего получается синтетический чугун с содержанием углерода 3,0—4,0%. Когда чугун готов, в расплав вводится мелкодробленая обезжиренная стружка малоуглеродистой стали или мягкого железа в кусочках размером не более 10—15 мм. Каждый кусочек должен быть сухим, чистым, без ржавчины, цветов побежалости, каких-либо следов окисления. Количество стружки составляет 50—70% от массы чугуна — в зависимости от требуемого состава стали.

Стружка вводится постепенно, порциями. Перед присадкой каждой порции стружки в жидкую ванну температура металла не должна превышать 1480—1500°C. Необходимая степень оплавления стружки определяется с помощью стального прутка диаметром 15—20 мм. Таким прутком, после дачи каждой порции стружки, металл перемешивается до тех пор, пока можно ощущать удары твердых кусочков стружки, движущихся в ванне под действием электромагнитных потоков, о пруток. Таким образом, при приобретении навыка можно определять примерные размеры твердых включений малоуглеродистой стали в жидкой ванне.

По мере оплавления каждой порции стружки металл приобретает полужидкое или кашицеобразное состояние. В связи с этим перед присадкой следующей порции стружки он должен быстро подогреваться до необходимой температуры. После присадки последней порции стружки расплав, если это необходимо, нагревается до получения достаточной для разливки жидкоподвижности и раскисляется алюминием. Степень подогрева должна быть такой, чтобы в расплаве фиксировалась неоднородность — наличие недорасплавленных мелких стальных частиц. Благодаря тому, что эти частицы под действием электромагнитного поля взвешены во всем объеме жидкой ванны, готовую сталь можно выливать из тигля индукционной печи в форму.

Приготовленные нами булаты либо выливались в графитовые формы, либо оставлялись остывать в печи. В том и другом случае слиток медленно остывал в течение нескольких часов. Если полученный сплав выливался в графитовую форму, то необходимо было применять повышенный расход стружки. В этом случае получались булатные слитки с высокоуглеродистой матрицей, в которую вкраплены частицы мягкого железа (фото 5). Оплавившиеся частицы мягкого железа успевали науглероживаться в период плавки только с поверхности. Поэтому они сохраняли небольшое содержание углерода в сердцевине (0,03—0,05%), в то время как среднее содержание углерода в матрице составляло 1,4—1,6%.

Если же сплав до конца плавки поддерживался в кашицеобразном состоянии и застывал непосредственно в печи, применялся низкий расход стружки. Науглероживание частиц железа в этом случае происходило в большей степени. Концентрация углерода в преобладающем большинстве включений достигала 0,8—1,0%, а содержание углерода в матрице оставалось на прежнем

уровне (1,5%). Интересно, что поверхность включений также науглероживалась более сильно (фото 6).

Слиткам, полученным по первому способу, дали название булатов с ферритными прослойками, а по второму — булатов с углеродистыми прослойками. Струйчатые узоры на изделиях можно получать только из слитков булата с ферритными прослойками.

Позднее мы научились изготавливать легированные булаты. В частности, для подчеркивания узора в сталь иногда вводили кремний и фосфора которые повышают устойчивость феррита при ее термической обработке. Вводя в сплав никель и хром, можно получить нержавеющие булаты.

После того как мы убедились, что найденный способ получения слитков булатной стали повторим как в части технологического процесса, так и в части макроструктуры слитка, была сделана заявка на изобретение. Вскоре Государственный комитет по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР выдал нам авторское свидетельство на «Способ изготовления слитков булатной стали».

Булатный слиток получен, но можно ли утверждать, что он похож на тот самый вутц, который изготавливали наши далекие предки? По-видимому, можно, и вот почему.

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 отличимы 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, которые их (два оттенка) соединяют, он высоко ценится».

Итак, нелегкие многолетние поиски, металлургов успешно завершены. Древняя технология получения булата была воспроизведена на новой основе в современном сталеплавильном агрегате...

Булатные узоры

Для получения булатного слитка нужны были опыт и терпение; но еще больше времени и сил требовалось для того, чтобы правильно его проковать и получить изделия высокого качества. Если ограничиться лишь тем, что из куска стали вырезать клинок, то свойства его будут чрезвычайно низкими. Если же проковать вутц на полосу путем его деформации только в одном направлении, то ферритные включения вытянутся и на изделии получится

полосчатый прямолинейный узор, характерный для низших сортов булата. В этом случае мягкие ферритные полосы могут оказаться на лезвии клинка и он потеряет свои режущие свойства.

Встречались ли в древности с таким явлением? Да, встречались! Вот что об этом пишет Аль-Бируни: «К мечам, известным под названием ал-кубурийские, относятся как будто те, которые находят в могилах знатных покойников. И слышал я, что если мечи (изготовлены) из металла, который при плавке получил неодинаковое (количество) примесей («зелья»), то на них остаются тонкие нежные каналца (жилки), не впитывающие воду (углерод). Если они попадают на лезвиях, то (мечи) не способны резать из-за отсутствия твердости. И если их стесать с лезвия, то вреда нет». Недаром турецкие и египетские клинки с «полосатым» узором даже в древности считались булатами самого низкого качества.

А как же следует проковать вутц, чтобы получить из него клинок с высокими свойствами? Люди давно заметили, что дерево вдоль волокон колется легко, а поперек — с трудом. Значит, надо проковать слиток так, чтобы волокна структуры булата «обтекали» контуры изделия. Если это клинок, то волокна должны быть направлены вдоль лезвия. Но и расположение волокон в виде прямых линий не обеспечивает высоких свойств, поэтому необходимо ориентировать волокна в разных направлениях, «перепутать» их, тогда высокие свойства обеспечены.

Сегодня металлурги хорошо знают, что чем больше «сплестать» волокно при ковке, тем более стойкие и прочные изделия можно получить. Достигается это многократной ковкой в разных направлениях, а контролируется современными методами металлографического анализа. В древние же времена только появление на поверхности клинка коленчатого или сетчатого узора указывало мастеру на совершенство приемовковки. Постичь их было не легко. Опыт и умение приобретались годами, передавались из рода в род и хранились в глубокой тайне.

Из глубины столетий до нас дошел единственный способковки, которым в древности получали йеменские мечи с волокнистыми узорами, называемые «фарандом» или «мухаввас» (ткань с переливчатым оттенком). Вутц ковали не в длину, а начиная с одного конца, пока не расплющивали на блюдо. Блюдо разрезали по спирали, и полученные округлые полосы выравнивали. Из них и вали мечи.

Возможно, что П. П. Аносов скрывал способыковки своих клинков. Во всяком случае в работе «О булатах» много внимания уделяется режимам нагрева стали перед горячей деформацией, а ковка описывается предельно кратко: слиток рассекают зубилами на три части, разрубленные части «проковывают в правильные бруски, а потом в полосы». И это все. *

П. П. Аносов, безусловно, знал работы Бреана в Мериме, опубликованные в первой четверти XIX века, в которых своеобразие булатных узоров объяснялось только приемамиковки. «Я на опыте убедился,— сообщая Бреан в 1823 году, что волнистые жилки, которые кузнецы называют коленами,

являются результатами приема ковки. Если ограничиваться вытяжкой в длину, то жилки будут продольные, если же тянуть одинаково не всех направлениях, то рисунок имеет кристаллический вид; если же видоизменить вытяжку в двух направлениях, то получатся переходы, как в восточных булатах. Не нужно долгих опытов, чтобы достигнуть получения какого угодно узора».

Последнее утверждение неверно, и Мериме в более поздней работе совершенно правильно уточняет: «Что касается причудливости узора, то он является результатом работы молота при вытяжке, требующей много времени и искусства, чем и объясняется высокая цена клинков».

О своем искусстве получения различных видов булатных узоров П. П. Аносов не рассказывает...

В более поздних исследованиях неоднократно подчеркивалось, что получение булатов с коленчатыми и сетчатыми узорами связано с применением сложных, не известных нам приемов ковки. Так, например, Г. А. Кащенко в 30-х годах нашего столетия писал: «Внешним признаком булатной стали является красивый, видимый простым глазом узор. Этот узор представляет собой макроструктуру стали, называемую коленчатой или булатной. Она получалась, по-видимому, путем энергичной и многосторонней ковки, проводимой в особых условиях. При этом металл претерпевал глубокое обжатие в разных направлениях, в силу чего в металле уничтожается слабость, связанная с односторонней волокнистостью... Попытки воспроизвести булатную сталь, делавшиеся еще 100 лет назад и в более позднее время, приводили к успеху, хотя и неполному, так что процесс ковки булата является до сих пор не вполне выясненным...»

Интересно, что на нерешенность этого вопроса даже в 1978 году указывал немецкий металлург М. Захсе.

Между тем советскому металлургу Р. А. Лиждвою удалось раскрыть механизм одного из способов формирования булатного узора. Он изобрел и разработал приемы кузнечной вытяжки с направлением подачи слитка (заготовки) под острым или прямым углом к фронту бойков молота. Этот способ, известный под названием «косая ковка», позволяет сочетать вытяжку металла в двух направлениях с его протяжкой вдоль оси заготовки. Р. А. Лиждвой экспериментально показал, что при протяжке металла вначале под прямым, а затем под острым углом к фронту бойков или с произвольным изменением угла подачи заготовки в пределах $45\text{—}90^\circ$ формируется текстура, соответствующая узору волнистого булата.

Старший реставратор Владимиро-Суздальского музея-заповедника В. И. Басов выплавил тигельным способом высокоуглеродистую сталь с содержанием углерода 1,3—1,9%. В результате замедленной кристаллизации слитка этой стали была получена высокая степень дендритной ликвации углерода. Проковкой стали путем нанесения крестообразных ударов под углом 45° к оси проковываемой заготовки был получен клинок с узором, очень похожим на сетчатый булат. Правда, в связи с тем что резкой физической неоднородностью сталь, по-видимому, не обладала, узор на клинке проявился

не совсем четко.

Макроструктура полученных нами булатных слитков (см. фото 5, 6) гарантировала хорошее проявление узора послековки. Для получения различных узоров (фото 7) мы использовали круглые бойки и фасонные штампы, а также оригинальный метод горячей деформации, о котором будет рассказано позже.

Применяли ли древние кузнецы фасонные штампы? Да, применяли. Археологические находки свидетельствуют, что при изготовлении сложных поковок в IX—X веках должны были обязательно участвовать два инструмента: фигурные подкладки и фасонные штампы.

Наши исследования показали, что наиболее удобными дляковки являются круглые слитки диаметром 100—140 мм и длиной 150—240 мм. Перед деформацией их поверхность счищалась абразивами. Если после удаления верхней корки на поверхности слитка обнаруживали дефекты, они также удалялись. Передковкой дляповышения пластичности металла при деформации слитки отжигали. Нагрев слитков подковку осуществлял ли очень медленно. Так же, как это делал П. П. Аносов, слитки сажали в камерную печь при температуре 200°C и в течение 2—3 часов нагревали до 600°C. Последующий прогрев слитков с 600 до 900—1080°C осуществляли в течение 2 часов. Промежуточный нагрев металла во времяковки производили так, чтобы слитки в продолжение 20—30 минут нагревались до необходимой температуры.

Ковку нагретых слитков производили легкими ударами на молоте 750 кг. Слиток первый раз проковывали на полосу сечением 50X50 или круг диаметром 50—60 мм. После расковки подприбыльную часть, длиной до 1/3 длины полученной штанги, удаляли. После вторичного нагрева штангу проковывали на полосу сечением 70X20 или круг диаметром — 20 мм.

С целью более четкого выявления макроструктуры поковки отжигали по следующему режиму: медленный нагрев до 780—800°C, выдержка при этой температуре 5—6 часов, охлаждение в печи до 600°C и последующее охлаждение на воздухе.

В первых экспериментах мы обычными методамиковки вытягивали слиток в полосу. На поковках после шлифовки и травления поверхности слабым раствором соляной кислоты появлялся полосатый узор, характерный для низших сортов булата. На фото 8 показан нож, сделанный из нашего булата типа шам. Светлые полосы на темном фоне — участки малоуглеродистой стали (железа) в объеме высокоуглеродистой основы. Рисунок на этом ноже очень напоминает узор на аносовском кинжале (см. фото 3).

Поскольку светлые полосы обычно вытягивались по волокну вдоль лезвия клинка, на лезвие древние мастера старались выводить высокоуглеродистый участок металла. Такое лезвие после закалки на мартенсит приобретало значительную твердость, но самозатачивающим свойством не обладало. Возможно, что прожилки железа в таком булате обеспечивали клинку только повышенную вязкость.

Для превращения полосатого рисунка в волнистый мы обжимали ребра заготовки круглым прутком, после чего края вырезали. Коленчатый узор получали путем горячего скручивания заготовки и последующего ее обжатия.

По предложению Ю. И. Люндовского, часть заготовок перед горячей деформацией подвергали местному нагреву токами высокой частоты. Пруток диаметром 1.5—20 мм устанавливали в одновитковый кольцевой индуктор диаметром до 50 мм. Концы бруска фиксировали в зажимах. На расстоянии 20 мм от конца заготовку нагревали токами высокой частоты. Нагреву подвергался участок шириной 15—20 мм. После достижения температуры 1000—1050°C прутки скручивали в направлении по часовой стрелке на угол 90°. Затем заготовку перемещали вдоль ее оси на 20 мм, нагревали соседний участок и скручивали в направлении против часовой стрелки на такой же угол. Таким же образом производили нагрев и деформацию скручиванием во взаимно противоположных направлениях отдельных участков всей заготовки. После этого заготовку либо обжимали фасонными штампами, либо просто проковывали на толщину 5—8 мм и вырезали пластины, из которых изготавливали клинки и другие изделия.

Клинок, изготовленный этим способом, имел ярко выраженный узор с гроздевидными фигурами, принимающий форму мотков и прядей, выступающих прозрачной сеткой на более темном фоне рисунка. Это был узор типичного кара-табана (черный блестящий)—лучшего индийского булата.

Усвоив найденные приемыковки булатных слитков и добившись многократной повторяемости булатных узоров на основе ферритных прослоек, мы приступили к изучению узоров, получающихся на булатах с углеродистыми прослойками. Узор на таких булатах выявлялся более глубоким травлением, получался более выпуклым и тонким, но менее выразительным, так как цвет углеродистых прожилок не сильно отличался от цвета высокоуглеродистой матрицы. Кроме того, эти булаты обладали значительно худшей пластичностью, их было тяжелее деформировать, и это затрудняло получение сетчатых и коленчатых узоров.

Волнистый рисунок на клинках, приготовленных П. Н. Швецовым, очень похож на полученный нами рисунок булата с углеродистыми прослойками (фото 9). Аналогичные рисунки нами были получены на топорице и кортиках (фото 10, 11). Металлографическим анализом было подтверждено и сходство их микроструктур. Таким образом, скорее всего П. Н. Швецов высших сортов булата типа табан и хорасан получать не умел.

Сохранились сведения, что П. Н. Швецов при приготовлении булатов «железо предпочитал в виде гвоздей, листов, но при обязательном условии — без ржавчины». Это дает основание предполагать, что при приготовлении булатов он пользовался приемами, описанными П. П. Аносовым. Однако температура в печи Сименса, куда ставились тигли во времена П. Н. Швецова, была достаточно высокой, и поэтому кусочки железа могли почти полностью расплавляться и науглероживаться. Все же в этих условиях, по-видимому, можно было добиться некоторой неоднородности стали по углероду; но

слитков с включениями из железа (феррита), изготовить уже было невозможно. С другой стороны, если мастер не вынимал тигель со сталью из печи вовремя, у него выходила обычная углеродистая сталь. Вот почему булат у П. Н. Швецова получался не всегда.

В свете вышеизложенного легко объяснить замечание П. П. Аносова о том, что «твердый булат переходит от перегревки прямо в чугун, а мягкий в сталь». Перегрев булатов перед ковкой обеспечивает высокую скорость диффузии углерода, которая может полностью устранить неоднородность булата и «стереть» его узоры.

Когда П. П. Аносов изготавливал булат, он мог исследовать только узор на его поверхности, что современная наука квалифицирует как макроструктуру стали. Как уже отмечалось, более объективными характеристиками свойств стали является ее микроструктура, которая определяет фазовый состав сплава. Н. Т. Беляев изучал микроструктуру закаленного и отпущенного булата. Им приведена единственная в литературе микрофотография структуры аносовского булата, увеличенной в 50 раз. На фоне троостита Н. Т. Беляев наблюдал крупинки структурно-свободного цементита. В связи с этим изучение микроструктуры и фазового состава полученных нами булатов представляло огромный интерес.

На фото 12, а приведена микроструктура отожженного при 850—860°C булатного клинка. В центре видна зона мягкого и пластичного феррита (содержание углерода 0,03%), окруженная пластинчатым перлитом (содержание углерода 1,2—1,5%). По границам зерен перлита наблюдается карбидная сетка.

Неоднородность макроструктуры булатного слитка после периодических нагревов и деформации приводит к резко выраженной микронеоднородности сплава. Это вызвано тем, что в результатековки дробятся и тесно переплетаются слои металла с различным содержанием углерода, который при нагревах диффундирует из слоя в слой. В результате этого малоуглеродистые зоны металла все более и более насыщаются углеродом.

На фото 12, б видны три совершенно различные зоны в стали. Левая зона соответствует заэвтектоидной стали с содержанием углерода 1,5%. Она состоит из перлита и сравнительно крупных скоплений сфероидальных карбидов (цементита), выделившихся при медленном охлаждении стали. За ней расположена зона чистого феррита. Третья зона характеризуется пластинчатым перлитом со значительно меньшим выделением цементита. Сплав этой зоны содержит примерно 1,2% углерода. Таким образом, замеченные Н. Т. Беляевым выделения структурно-свободного цементита наблюдались и в нашем булате.

Выделение цементита на границе феррита и заэвтектоидной стали объясняется, по-видимому, диффузионным взаимодействием включений железа с высокоуглеродистой матрицей в процессе охлаждения слитка и последующего нагрева стали для пластической деформации. Поэтому наиболее крупные карбиды скапливаются в виде сегрегатов на границе с ферритной зоной. Средний размер карбидов 4—5 микрон, занимаемая ими площадь на

шлифе—до 45%. На границе с ферритом часто наблюдались монолитные карбидные участки (фото 12, в). Такая структура стали должна обеспечивать необыкновенно высокие режущие свойства булата.

Неоднородность по углероду вызывала появление в булате самых разнообразных структур. Так, например, зоны пластинчатого перлита с выделениями карбидов чередовались не только с ферритными, но и с феррито-перлитными, характерными для доэвтектоидных сталей с содержанием 0,25—0,45% углерода (фото 12, г).

Булаты с ферритными и углеродистыми прослойками отличались по микронеоднородности только тем, что в последних металл всех зон был более насыщен углеродом и включений феррита было очень мало. Включения цементита в таких булатах выделялись на границе с менее насыщенной углеродом зоной стали.

Таким образом, микроструктура отожженного булата подтверждает ярко выраженную неоднородность его по углероду, которая сопровождается чередованием практически всех возможных структур, характерных для сплавов с углеродом от 0,03 до 1,5%. Наряду с этим характерной особенностью булата является выделение крупных зерен цементита, группирующихся часто в конгломераты. Особенно важно, что частицы карбидов, как правило, выделяются на границах с мягкими и пластичными структурными составляющими.

Интересно, что аналогичные особенности микроструктуры доаносовских булатов описывает современный исследователь И. С. Гаев. Обнаружив неоднородность распределения цементита в закаленной стали, он показал, что крупнозернистость и неравномерное распределение цементита сохраняются и после отжига при 900°C. В микроструктуре отожженной стали он наблюдал, так же как и мы, «круглые зерна эвтектического и вторичного цементита, а также цементита пластинчатого перлита, образованного в процессе отжига». При нагреве и ковке часть зерен цементита дробится и растворяется в аустените, а затем снова укрупняется путем выделения и коалесценции. Крупные зерна могут сохраняться при нагреве. И. С. Гаев получил зерна цементита почти такой же величины, как в булате, в образцах стали, изготовленных спеканием смеси порошков чистого железа и сажистого углерода. Этот эксперимент подтверждает наши предположения о том, что на границе железа и высокоуглеродистого сплава создаются благоприятные условия для образования крупных зерен цементита.

Современные исследователи булатной стали И. С. Гаев и И. Н. Богачев считали, что большую неоднородность в распределении углерода можно достичь длительной выдержкой полужидкого металла, не доводя его до расплавления. Другими словами, они поддерживали теорию Д. К. Чернова и Н. Т. Беляева о том, что природа булатного узора связана только с дендритной неоднородностью стали по углероду. На основании приведенных выше сведений можно заключить, что ликвация углерода при кристаллизации булатного слитка — действительно важный фактор, хотя она и не является первопричиной образования узора. Медленное охлаждение двухфазного

сплава, с одной стороны, помогает достичь его наибольшей неоднородности, с другой — обеспечивает диффузию углерода из жидких или полужидких масс высокоуглеродистой стали в частицы малоуглеродистого железа. Эти явления приводят к «диффузионной сварке» частиц сплава с различным содержанием углерода и в результате к получению монолитного слитка булата.

Если выплавленную булатную сталь охлаждать быстро, то диффузия углерода происходит значительно в меньшей степени, и благодаря различным коэффициентам объемного сжатия при охлаждении высокоуглеродистой и малоуглеродистой стали возникают сильные напряжения, которые могут привести к трещинам. Поэтому быстро охлажденные слитки при ковке разваливались, и из них не удавалось изготовить какое-либо изделие. Правда, если включений феррита много и они достаточно крупные, то, будучи пластичными, они при ковке могут легко деформироваться и под давлением окружающего металла заваривать разрывы и микротрещины, образующиеся в хрупких высокоуглеродистых зонах.

Из приготовленного нами булата были выкованы клинки разных форм и сечений. Наступило время решать вопрос о режимах их термической обработки — закалке и отпуске.

П. П. Аносов закаливал булаты в зависимости от назначения в масле или воде, причем самые твердые из них — преимущественно в масле, предварительно нагретом почти до температуры кипения. Применение масла, а в наше время — масла в качестве охлаждающей среды при закалке значительно уменьшает возникновение в стали закалочных дефектов, так как эта среда обеспечивает сравнительно небольшую скорость охлаждения в момент превращения аустенита в мартенсит.

Известно, что многие металлурги придавали большое значение режимам закалки булата и даже относили их к основным секретам приготовления булатного оружия.

В дальнейшем читатель убедится, что для такого мнения есть веские основания. В то же время полученная нами слоистая структура булата в отожженном состоянии не давала никаких оснований опасаться того, что булатный узор будет разрушен в результате последующей закалки при любых выбранных режимах нагрева и охлаждения.

Зная микроструктуру отожженной стали и ее химический состав, подобрать оптимальную температуру нагрева под закалку и необходимые скорости охлаждения при современном состоянии науки не так уж трудно. Очевидно, свойства булата будут тем выше, чем тверже и прочнее металл в зонах железоуглеродистого сплава заэвтектоидного состава. Что касается участков железа или малоуглеродистой стали, то они при нагревах и охлаждении под закалку должны сохранять ферритную структуру и обеспечивать пластичность и вязкость булата.

Наибольшую твердость после закалки может обеспечить только мартенситная структура с крупными включениями цементита. Поскольку такие включения карбидов железа уже получены в стали после отжига, следует

осуществлять нагрев под закалку до таких температур, чтобы они не растворялись полностью в аустените. С этих позиций нагрев стали надо было бы осуществлять до температур порядка 740—750°С (см. рис. 2). При достаточной выдержке при таких температурах перлит полностью превратится в аустенит, а карбиды растворятся в аустените не успеют.

Однако предварительными экспериментами было установлено, что нагрев до температур 740—750°С и последующее быстрое охлаждение булата в масле приводят к образованию смешанной троостито-мартенситной структуры, которая максимальную твердость стали обеспечить не может. Выпадение троостита в данном случае объясняется тем, что имеющиеся карбиды являются готовыми центрами кристаллизации для перлита (троостита) и облегчают его образование даже при высоких скоростях охлаждения стали.

Чтобы увеличить скорость охлаждения, необходимо было поднять температуру нагрева стали. После закалки от температур 850—870°С сталь имела мартенситную структуру, но появились участки остаточного аустенита и наблюдалось значительное измельчение карбидов. Такая структура также не могла обеспечить необходимую твердость и износостойкость.

Оказалось, что только закалкой от узкого интервала температур 810—830°С можно получить требуемые структуры и свойства булата.

На фото 13, а показана микроструктура закаленного булата с ферритными прослойками. Слева видна ферритная зона, справа — зона мелкоиглочатого мартенсита с включениями крупных и мелких карбидов, которые группируются у границы структурных зон. Микротвердость мартенситной зоны в 5 раз выше ферритной. Чередование мягких и пластичных ферритных зон с твердыми мартенситными прослойками наблюдается в объеме всего металла (фото 13, б). Примечательно, что и в ферритной зоне встречались крупные включения мартенсита (фото 13, в). Чередование феррито-мартенситных зон с мартенситными показано на фото 13, г. В мартенситных зонах наблюдались мелкие зерна остаточного аустенита.

Аналогичные структуры были выявлены после закалки булата с углеродистыми прослойками. Интересно, что микроструктура этого булата после нормализации от 810°С и образца кованого булата П. Н. Швецова были очень похожи. В этом мы находим подтверждение того, что П. Н. Швецов умел готовить булат только с углеродистыми прослойками.

После детального изучения свойств закаленного булата сделанные образцы холодного оружия и инструмента было решено подвергнуть следующей термообработке: закалке от 810—830° в воде и масле и низкому отпуску при 180—230°С. Готовые изделия были отполированы, протравлены уксусной кислотой и промыты дистиллированной водой. Часть изделий хромировалась и никелировалась, при этом узор полностью сохранялся.

В отделе оружия Государственного исторического музея хранится авторское свидетельство на изобретение за № 116334 от 18 февраля 1955 года «Способ изготовления слитков булатной стали», а рядом на стенде — кортик и полированные плитки с причудливыми узорами. Все это создано

златоустовскими металлургами И. Н. Голиковым, П. В. Васильевым, Ю. Г. Гуревичем, Н. Ф. Лонгиновым и Ю. И. Люндовским.

На мечях, шпажных клинках, кортиках, топорах и ножах разных форм хорошо просматривались узоры всех сортов булата (СМ. фото 8, 9, 10, 11, 14). Часть этих изделий экспонировалась на Всесоюзной выставке достижений народного хозяйства СССР в 1956 году. В Златоустовском городском музее демонстрируется также кубок из булатной стали, изготовленный в честь 200-летия города Златоуста.

Клинки из нашего булата рубили гвозди и обладали высокими режущими свойствами. Несмотря на большую твердость, они обладали достаточно высокой вязкостью: при ударах значительной силы поломать их не удавалось. Булатные ножи для рубанка работали без заточки в несколько раз дольше, чем ножи из обычной углеродистой стали.

К сожалению, легендарной упругости булатных клинков достичь не удалось. Хорошо известно, что высокую упругость можно обеспечить тщательной шлифовкой и тонкой полировкой изделий. Так, например, Д. К. Чернов показал, что если хорошо отполировать кристалл поваренной соли, то даже он приобретает упругость. Н. Т. Беляев подчеркивал, что «полировка изделий доводилась П. П. Аносовым до такого совершенства, что готовые изделия, в сущности, являлись шлифами». Условиями для подобной отделки образцов булата мы не располагали.

А вот «харалужные» (цветастые) булаты мы приготавливали успешно. Для этого обычный булат с феррит-ными или углеродистыми прослойками оксидировался в обычной нагревательной печи при температуре 200—400°C. В связи с тем что цвет стали при нагревании на воздухе изменяется в зависимости от содержания в ней углерода, нам удавалось получать на фоне золотистой матрицы красивые сиреневые узоры.

В июле 1961 года в Златоусте вновь собрались металлурги со всей страны. Здесь состоялось Всесоюзное совещание прокатчиков. Участникам совещания в качестве сувениров были подарены пластины из узорчатой стали...

Секреты булата

После того как разработана технология получения булатных слитков, показаны приемы получения рисунков различных сортов узорчатой стали и оценены ее свойства, представляет интерес еще раз проанализировать данные, которые накопила история и наука о производстве этой замечательной стали, ее термической обработке и отделке.

Наши разработки теории и производства булата убедительно показали, что булатный узор и необыкновенные свойства этой стали являются следствием не только макро-, но и микронеоднородности металла. Если микронеоднородность зависит от физической неоднородности, обусловленной сохранением в объеме жидкой стальной ванны недорасплавленных частиц с небольшим содержанием углерода, то микронеоднородность возникает вследствие диффузии углерода из слоя в слой при нагревах изделий и тщательного «перемешивания» слоев

металла во время пластической деформации.

Таким образом, с одной стороны, правильна расшифровка работ П. П. Аносова профессором А. П. Виноградовым; с другой — Д. К. Чернов, Н. И. Беляев и их последователи совершенно верно указывали на необычную микронеоднородность булата. В связи с этим экспериментально полученные А. П. Виноградовым узоры на образцах низкоуглеродистой стали являются только имитацией булата, поскольку в микроструктуре такой стали не наблюдаются выделения цементита (карбидов).

Очевидно, и наши разработки не могут претендовать на полное воспроизведение свойств булата, качество которого, как уже неоднократно указывалось, зависело от многих факторов: чистоты и состава исходных материалов, способов деформации и термической обработки, отделки, шлифовки и полировки готовых изделий.

В наше время хорошо известно: чистота и свойства железа и стали зависят не только от содержания в них таких вредных примесей, как кислород, сера и фосфор, но и от загрязненности металла неметаллическими включениями, представляющими собой главным образом мельчайшие частицы оксидов тугоплавких элементов. Применяемое нами мягкое железо, например, было получено путем окисления в жидкой стали ненужных примесей и перевода их в шлаковую фазу. Поэтому наше «чистое» по кремнию и марганцу железо обязательно содержало включения оксидов этих элементов.

В древние времена железо получали путем восстановления чистых по сере и фосфору руд древесным углем при температурах 800—1200°C. При этих температурах кремний, марганец и многие другие элементы не восстанавливались, а их твердые оксиды растворялись в жидком шлаке. Железо в крице, очищенной от шлака, практически не содержало включений оксидов тугоплавких элементов. Таким образом, сыродутный и кричный процессы получения железа обеспечивали высокую чистоту металла не только по сере, фосфору и другим примесям, но и по неметаллическим включениям. Такое железо и приготовленные на его основе сталь и чугун могли обладать необыкновенной пластичностью и высокими механическими свойствами.

Есть еще одна возможная причина высокой пластичности и вязкости булатной стали. Недавно советским металлургом С. М. Барановым зарегистрировано открытие, связанное с «явлениями изменения структуры к свойств стали, обусловленных присутствием монооксида кремния». Оказывается, наличие окиси кремния в сталях сильно снижает их пластичность и вязкость при низких температурах. Поэтому на заводе им. И. А. Лихачева, например, кузова автомобилей, предназначенных для северных районов, изготавливали из углеродистых сталей, отлитых методом бескремнистого раскисления. Эти стали обладают также повышенной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях. С. М. Баранов считает, что при сыродутном способе получения железа и стали условий для образования монооксида кремния не существовало, и поэтому булатные стали хорошо ковались при низких температурах, были прочными и пластичными.

Действительно, в большей части клинков из булата обнаружено очень мало кремния, а содержание фосфора высокое (0,8—0,25%). Мы уже отмечали благоприятное действие фосфора на коррозионную стойкость стали в атмосферных условиях. С другой стороны, фосфор усиливает междендритную ликвацию углерода при кристаллизации стали и делает феррит более устойчивым. В связи с тем что растворимость фосфора в аустените — гораздо меньше, чем в феррите, при охлаждении стали ниже 1400°C из пересыщенного фосфором аустенита выделяются не фосфиды, а возникают ферритные участки с более высоким содержанием этого элемента. Такие участки устойчивы при дальнейшем охлаждении стадии они становятся зародышами при образовании феррита при низких температурах. Последнее приводит к тому, что в микроструктуре стали появляется неоднородность в виде светлых полосок или пятен. Такая неоднородность была выявлена нами в прокатанной на лист низкоуглеродистой стали, содержащей 0,11% фосфора. Таким образом, фосфор мог усиливать микронеоднородность булата.

Если тайны булатных узоров и природы структурной неоднородности булата больше не существует, то в технологии приготовления булатных изделий — их ковке, термообработке и отделке — есть еще много белых пятен.

Многие булаты по содержанию углерода ближе к чугуну, чем к стали, поэтому булат — сталь сверхуглеродистая. Длительное время считали, что ковать чугун и сверхуглеродистые стали нельзя, они хрупкие и рассыпаются под ударами молота. Между тем булат надо было не просто проковать, а проковать так, чтобы сталь приобрела мелкозернистую структуру.

Совершенно прав металлург А. Герчиков, который замечает, что острота и стойкость острия зависят от того, насколько мелки зерна основной твердой фазы стали. Современную сталь для режущего инструмента подвергают специальной ковке, чтобы измельчить зерно. У булата же зерно должно было быть чрезвычайно мелким. Правда, зерно булатной стали мелкое уже в слитке, поскольку твердые частицы включений обеспечивали объемную кристаллизацию жидкой стали и затрудняла рост дендритов. При ковке слитка зерно еще более измельчалось. Теперь мы знаем, что одна из причин мелкозернистости и высокой пластичности сплавов железа с высоким содержанием углерода — их особая чистота. А если ее нет?

В последнее время появились работы, показывающие, что при определенных температурах деформации сверхуглеродистая сталь, содержащая 1,2—2,0% углерода, может обладать высокой пластичностью и по другим причинам. Главным условием высокой пластичности и даже сверхпластичности является не только дисперсность зерен, но и постоянство их размеров при температуре деформации. Последнее обеспечивается, если в стали образуются очень тонкие частицы цементита (карбидов железа).

Подготовка стали к сверхпластичному состоянию осуществляется сравнительно недавно вновь открытыми методами термомеханической обработки. Сталь нагревают немного выше температуры перлитно-аустенитного превращения и выдерживают необходимое время для растворения всех

карбидов в аустените. Затем ее непрерывно деформируют, одновременно охлаждая. Это приводит к сильному измельчению аустенита, образованию субзерен и созданию значительного количества рассеянных дислокаций. Выпадающие из аустенита по мере его охлаждения тонкие частицы карбидов (цементита) оседают на дислокациях и субзернах.

При температуре 727°C (см. рис. 2) аустенит начинает превращаться в феррито-цементитную смесь. Дальнейшая непрерывная деформация приводит к образованию сверхтонких зерен феррита с однородным распределением субмикронных частиц цементита. Именно такой материал и обладает сверхпластичностью при $600\text{—}650^{\circ}\text{C}$. Так, например, сталь, содержащая 1,6% углерода, при этих температурах удлиняется перед разрушением более чем на 1000%. После охлаждения до комнатных температур эта сталь обладала примерно в 2 раза большей прочностью, чем малолегированные инструментальные стали, и не уступала им в пластичности!

Еще выше поднимаются свойства стали после закалки. Мартенсит сверхуглеродистой стали имеет твердость и прочность на излом при сжатии, соизмеримые с карбидом вольфрама — одного из самых прочных и твердых после алмаза материалов. Но карбид вольфрама имеет нулевую пластичность при сжатии, и поэтому разрушается хрупко, в то время как сталь до излома пластически деформируется почти на 10% и разрушается вязко. Таким образом, высокоуглеродистые заэвтектоидные стали при должной термомеханической обработке могут обладать высокой твердостью, прочностью и достаточно большой вязкостью. Мы уже знаем, что эти качества позволяют затачивать лезвие клинка до необыкновенной остроты.

Высокодисперсные зерна феррита, полученные в результате термомеханической обработки высокоуглеродистых заэвтектоидных сталей, обладают необыкновенно высокой подвижностью атомов на своих границах. При $650\text{—}800^{\circ}\text{C}$ диффузия атомов железа на поверхность зерна проходит в миллион раз быстрее, чем в его основу. Такие свойства стали должны хорошо обеспечивать ее сварку в процессековки. О. Д. Щерби экспериментально показал возможность сравнительно быстрой диффузионной сварки высокоуглеродистой заэвтектоидной стали с мягким железом и низкоуглеродистыми сталями при 800°C . Им получен слоистый материал, аналогичный сварочному булату (дамасская сталь).

Знаменательно, что не так давно советские ученые А. Бочвар, В. Давыдов и Л. Лушников показали: при определенных условиях обычный чугунок становится сверхпластичным. Оказывается, при определенной температуре и достаточно быстрой деформации опасные изломы и трещины в чугуне не образуются. Зарождавшиеся очаги разрушения быстро «затягиваются». Механизм «затягивания» микротрещин связывают с большой скоростью диффузии, которая достигается лишь тогда, когда зерна металла очень мелкие и имеют круглую форму. Эксперименты с мелкозернистым белым чугуном, содержащим углерода 3,5%, свидетельствуют, что при 700°C удлинение образцом достигало 150%!

Использовали ли древние кузнецы термомеханическую обработку стали для получения ее высоких свойств? Установленные факты позволяют положительно ответить на этот вопрос. Известно, что дамасские оружейники построили между двумя высокими горами мастерскую и вывешивали на сильном ветре раскаленные докрасна послековки клинки. Подобным образом закаливали сталь и в древней Грузии. Только что откованный горячий клинок кузнец передавал подручному, и тот, мчась верхом на разгоряченном коне, размахивал им над головой. Эти способы закалки булата непосредственно послековки в потоке ветра кажутся сегодня романтическими; между тем они как раз и являются своеобразными приемами термомеханической обработки стали.

Совмещениековки, закалки и отпуска — закономерный прием в технологии производства изделий с мелкозернистой структурой, высокой твердостью и упругостью. Для получения высокой твердости стали ее отпуск после закалки должен быть как можно более низким — при температуре 150°C. При таком отпуске нельзя получить высокой упругости. Отпуск же при 300°C обеспечивает высокую упругость, но при этом резко снижается вязкость стали вследствие развития необратимой хрупкости. Более высокая температура отпуска стали повышает вязкость, но снижает упругость.

Благоприятное сочетание всех этих свойств — твердости, упругости и вязкости — может быть получено при определенной температуре отпуска, только после термомеханической обработки, подавляющей хрупкость. Поэтому клинок, закаленный послековочного нагрева, непосредственно послековки должен обладать максимально благоприятным сочетанием всех указанных свойств. Похоже на то, что в древности это знали...

Кузнецу мало было владеть достаточно сложными приемамиковки булата, он должен уметь нагреть сталь до строго определенной, оптимальной температуры и прекратить деформацию металла в нужный момент. Как читатель уже убедился, отклонения от заданной температуры отрицательно сказывались на строении стали и могли значительно ухудшить свойства клинка.

Древние кузнецы, конечно, не могли измерять температуру металла, они судили о ней по цветамкаления и побежалости на его поверхности при нагреве. Острые глаза кузнецов различали целую гамму цветов нагретой стали. Вот она. Бело-матовый—1250°C, светло-желтый — 1200, желтый — 1100, светло-красный — 950, красный — 850, светло-вишневый — 800, вишнево-красный — 750, темно-вишнево-красный — 650, темно-красный — 600, слабосветящийся — 550, серый — 330, светло-синий — 320, темно-синий — 300, фиолетовый — 285, ко-ричнево-красный — 265, темно-желтый — 220°C.

Древние манускрипты повествуют, что в давние времена мастера передковкой и закалкой булата плотно завешивали окна и работали в полной темноте. Как теперь ясно, это отнюдь не таинственный обряд. В темноте натренированному глазу легче проследить гамму цветов раскаленного металла. И все-таки надо иметь большой навык, чтобы не ошибиться во всех этих цветах и оттенках; да и не каждому дано такое зрение. Поэтому мастера постоянно

искали более совершенные и простые способы определения температуры.

Особенно точно надо было определять температуру при закалке и отпуске изделий. Изменение температуры нагрева под закалку на 10—20°C может заметно изменить свойства стали. Еще более важно точно зафиксировать температуру при отпуске. Даже несколько градусов отклонения от необходимой температуры отпуска для стали данного состава приводит к значительному ухудшению ее упругости.

Случай, о котором я сейчас расскажу, произошел не так давно. Приближалось начало осенней охоты, и охотники приводили в порядок свои ружья. Особенно важно восстановить упругость пружины бойка. Для этого пружину следует закалить и, главное, правильно отпустить. Делать это лучше всех умел один старый мастер. И делал, но с одним условием: никто не должен наблюдать за его работой. Заперся как-то этот мастер в термичке после конца рабочей смены, принялся за работу. Но какой-то парень все-таки подсмотрел его секреты. Увидеть увидел, а понять ничего не смог. Нагрел мастер пружину в печи и начал к ней прикладывать какие-то палочки: то одну приложит, то другую. Прикладывал, прикладывал и вдруг резко бросил пружину в воду. После этих манипуляций пружина стала необыкновенно упругой. Не знал этот парень, что «волшебник» пользовался старинным способом определения температуры стали при отпуске по воспламенению различных сортов дерева...

А способ этот применяется в металлургии и поныне. Американский инженер Р. Акофф рассказывает, что совсем недавно, когда на одном из металлургических заводов начали устанавливать термопару для определения температуры футеровки электропечи, старый сталевар спросил: «А зачем вы это делаете, можно же гораздо проще!» Он разжевал табак, плюнул в печь и по времени его воспламенения достаточно точно определил температуру футеровки.

Закалку стали применяли с незапамятных времен. Ее знали мастера Древнего Египта за несколько веков до нашей эры. Знаменитые Лейденские папирусы, найденные в Фивских гробницах, содержат описание способов получения и закалки металлов, относящихся к III веку. Лезвия древнеримских мечей из сварочного булата были закалены на мартенсит. На некоторых клинках мартенситная структура чередовалась с трооститом, причем в отдельных местах выступал феррит. Последнее свидетельствует о небольшом, менее 0,8%, содержании углерода в сварочном булате. Интересно также, что в средней части клинков закалки не обнаружено.

Мартенсит в структуре лезвий очень древних мечей находят не часто, поэтому вещественных доказательств применения в глубокой древности термообработки не так уж много. Это объясняется тем, что, с одной стороны, большинство найденного холодного оружия подвергалось действию огня, а с другой — за многие сотни лет мартенситная структура стали, полученная закалкой, могла превратиться в перлитные структуры отпуска.

Широко применяли термическую обработку стали в Киевской Руси. Из исследованных Б. А. Колчиным более 200 цельносталей или со стальными

лезвиями древнерусских клинков и наконечников стрел термическую обработку сохранило более 90% изделий.

Древние кузнецы эмпирически владели почти всеми тонкостями технологии закалки и отпуска стали. Они знали, что чем быстрее охладить сталь после нагрева под закалку, тем она тверже и износоустойчивей. В. Шекспир так описывает меч Отелло:

 Был в комнате другой в запасе меч,
 Он закален в ручье, как лед, холодном.

Температура воды и растворимые в ней соли оказывают большое влияние на скорость охлаждения. Поэтому в древности пользовались для закалки родниковой водой, водой из минеральных источников, росой и так далее. Температуру воды и место ее отбора держали в строгом секрете. Сохранилась легенда о том, как один подмастерье захотел узнать, при каком жаре идет закалка. Когда мастер опустил в воду раскаленный клинок, тот сунул в сосуд палец. Рука подмастерья, проявившего излишнее любопытство, была отрублена ретивым мастером.

О том, какое значение имела температура воды и растворимые в ней соли, свидетельствует случай, который произошел уже в наши дни. На заводе вдруг пошел повальный брак по механическим свойствам деталей после термообработки. Причину установили не сразу; оказалось, что кто-то в закалочной воде помыл руки с мылом...

В древности искали и умели находить среды, в которых сталь охлаждается быстрее, чем в простой воде. Вот как Теофил описывает закалку стали, которая режет «стекло и мягкие камни»: «Берут трехлетнего барана, привязывают его и в течение трех дней его не кормят. На четвертый день его кормят только папоротником. Спустя два дня такой кормежки его ставят на следующую ночь в бочонок с пробитыми снизу дырами. Под эти дыры ставят сосуд, в который собирается моча барана. Собранная таким образом за две-три ночи в достаточном количестве моча барана изымается, и в указанной моче закалывают инструмент».

Когда кузнецы научились получать стали с большим содержанием углерода, они обнаружили, что клинки, закаленные в холодной воде, легко ломаются от удара. Поэтому в Персии, например, начали закалывать холодное оружие в мокром холсте. Известен также метод закалки, при котором клинок до термической обработки обмазывался для тепловой изоляции толстым слоем особой глины с разными примесями. Состав удалялся только с лезвия, подлежащего закалке в воде. Образовавшейся при этом демаркационной линии в каждой мастерской придавали своеобразный оригинальный рисунок, по которому можно отличить мастера, изготовившего холодное оружие.

Древние кузнецы знали и способы предохранения металла от окисления в период нагрева под закалку. Кузнец брал бычьи рога, сжигал их на огне, в полученный пепел примешивал соли и посыпал этой смесью изделия, шепча заклинание. После этого изделия нагревались и закалывались в воде или сале.

Если не говорить о заклинании, то все это, как ясно теперь, являлось необходимым условием безокислительного нагрева стали.

Чтобы обеспечить необходимые свойства лезвию и обуху, закаленные клинки нужно было уметь отпускать при разных температурах. Делалось это путем нагрева клинка над раскаленными углями. Так при отпуске сабельного клинка различные его части отпускались следующим образом: у ручки клинок нагревали до зеленого цвета, у конца — до синего, в середине — до фиолетового, а лезвие — до желтого.

Применялась в древности и химико-термическая обработка стали. Цементацию стали делали так. Изделия смазывали свиным салом, обматывали ремешками, нарезанными из козлиной кожи, обвязывали льняными нитками, покрывали слоем влажной глины, сушили и помещали в горн. Поверхность стали науглероживалась, становилась твердой после закалки в воде, в то время как сердцевина оставалась вязкой, пластичной.

Кто не читал о варварском способе закалки стали в теле человека? В Древней Сирии, повествует легенда, клинок нагревали до цвета вечерней зари и шесть раз вонзали в ягодицы молодого раба. Известны приемы водобной закалки стали охлаждением в теле свиньи, барана или теленка. Был ли смысл в этом страшном ритуале? Оказывается, как это ни крамольно звучит, был. Он связан с химико-термической обработкой стали, которая называется цианированием.

Под цианированием понимают процесс насыщения поверхности стали одновременно углеродом и азотом. По сравнению с цементированным цианированный слой обладает более высоким сопротивлением износу, немалой твердостью, хорошей устойчивостью против атмосферной коррозии.

Твердое цианирование—процесс, аналогичный цементации. Он состоит во взаимодействии стали при нагреве с цианистыми солями. Основным компонентом солей является группа (CN), которая снабжает поверхность стали углеродом и азотом одновременно. Таким образом, цианирование—это совмещенный процесс цементации и азотирования. Для цианирования применяют чаще всего желтую кровяную соль $K_4Fe(CN)_6$ (. Если посыпать такой солью поверхность детали и нагреть ее до температуры 500—600°C, то в результате диффузии углерода и азота в тонкий поверхностный слой детали произойдет цианирование.

Но почему желтую соль $K_4Fe(CN)_6$ называют кровяной? Оказывается, потому что ее длительное время получали сплавлением обугленной животной крови с поташом и железом. Не исключено, что древние воины после битвы обмывали свои клинки водой и сушили на кострах. На клинках оставалась кровь, а в озерной воде часто бывает много растворенного поташа (K_2CO_3). Так, совершенно случайно в древности осуществляли цианирование стали. Между тем воины замечали, что после применения в сражениях поверхность их клинков становится твердой, износостойкой. Это и могло послужить основой «кровавого способа» термообработки холодного оружия.

Послековки и термической обработки клинки обтачивались на точильных

камнях, шлифовались и полировались. Эта работа включала ряд технологических операций и тоже требовала навыков, опыта и знания целого ряда ремесленных секретов.

Черновая шлифовка осуществлялась обычно на небольшом широком камне. Клинок заворачивался в предохраняющую ткань, обнажался только участок который подвергался шлифовке. Затем ткань передвигалась, и шлифовался следующий участок. Чистовая шлифовка делалась мелкозернистыми камнями различных сортов: корундом, наждаком, песчаником и другими. Доводка производилась на 4—8 камнях, а лучших клинков — на 15. Сохранилась миниатюра XII века, изображающая процесс изготовления мечей. Точило укреплено на деревянной колоде, наполненной водой. Подмастерье крутит ручку точила, а мастер шлифует клинок.

После обработки на камне клинки шлифовались различными тканями. В Индии нередко мастер заканчивал полировку пальцами своей руки. Советский филолог Н. Р. Гусева, прожившая несколько лет в Индии, так описывает процесс полировки изделий, который согласно преданиям был в ходу у древних индийцев: «Полировка осуществлялась при помощи трех компонентов: песка, наждака и пальца. Так вот, пальцем день за днем, с утра до ночи, месяц за месяцем, год за годом, поколение за поколением. И получали идеальную гладкую поверхность...».

Необыкновенное умение и титанический труд требовались, чтобы изготовить булатный клинок. Один клинок делался не часы, не дни, не месяцы, а годы...

Теперь совершенно ясно, что секрет булата был не один — их было несколько. Первая группа секретов относится к особенностям технологии получения слитка булатной стали с присущей ему неравновесной структурой, физической и химической неоднородностью. Эти секреты теперь расшифрованы, получен булатный слиток.

Вторая группа секретов относится к искусствуковки и получению булатных узоров. Многие приемыковки булата сегодня осмыслены и познаны, воспроизведены почти все известные булатные узоры. Но тут еще последнее слово не сказано, работы в этой области продолжаются.

Третья группа секретов касается чистоты исходных материалов, обеспечивавшей особый химический и фазовый состав углеродистой стали, вырабатываемой в древности. Эти секреты современная наука также постепенно раскрывает.

Четвертая группа секретов включает термическую и химико-термическую обработку стали. Многовековой опыт металлообрабатывающего ремесла позволил оружейникам найти оптимальные режимы термомеханической обработки, цементации, закалки и отпуска стали, которые они держали в секрете. За время, прошедшее с тех пор, термическая обработка стали превратилась в стройную науку. Пользуясь современными теоретическими и экспериментальными методами анализа, можно раскрыть многие секреты, касающиеся термообработки древнего булата.

Наконец, пятая группа секретов касается отделки булатного оружия. Здесь следует решительно признать: воспроизведение методов шлифовки и полировки древних клинков — дело для нас чрезвычайно трудное. Поэтому пока еще никому не удалось достичь легендарной упругости булатных клинков.

Исходя из секретов производства булатной стали сегодня можно достаточно убедительно ответить на вопрос: что такое булат? Но ответ этот будет не прост.

Булат — это углеродистая заэвтектоидная сталь. Булат не только углеродистая сталь, булат — сталь сверхуглеродистая, близкая по составу к чугуну. Булат не только сверхуглеродистая сталь, булат — сталь особо чистая, без посторонних примесей. И наконец, булат — высокоуглеродистая сталь, обладающая неравновесной структурой, с ярко выраженной макро- и микронеоднородностью. Булат—слоистая сталь. Очень твердые слои с высоким содержанием углерода чередуются в булате со слоями, мало насыщенными углеродом и поэтому пластичными. В процессековки все слои переплетаются, образуя характерный естественный рисунок. Булат — узорчатая сталь. Структура булата после применения специальных методовковки, термомеханической обработки и отделки обеспечивает ему необычайно высокие механические свойства. Булат — сталь, обладающая одновременно высокой твердостью, прочностью, вязкостью и упругостью. Чередование мягких и очень твердых участков на лезвии клинка превращает его в микропилу и обеспечивает самозатачиваемость. Булат — сталь, обеспечивающая необычайную остроту лезвия клинка и его самозатачиваемость. Таким образом, в понятие «булат» вкладывается целый ряд характерных особенностей этой замечательной стали.

ГЛАВА ПЯТАЯ

СТАРЫЕ ЗНАКОМЫЕ

Пусть человек пользуется прошедшими
веками как материалом, на котором
возрастает будущее...
Жан Гюйо

Наследники булата

Холодное оружие давно потеряло ценность, а с ним ушли в прошлое и булаты. Еще раз подчеркнем: в сравнении с высокопрочными и вязкими легированными сталями булат не представляет ничего выдающегося.

Кроме того, для всех рассмотренных способов производства булатов характерна сложная и длительная технология, которая к тому же не позволяет получать изделия точных размеров и формы. Для требуемой макроструктуры (узора) булата и придания изделию нужных размеров и формы необходима дополнительная механическая обработка. Практическая невозможность изготовления слитков булата массой более 30—50 кг без существенного нарушения требуемой физической неоднородности делает процессы приготовления стали, аналогичной древнему булату, очень дорогими и поэтому экономически невыгодными для современного производства.

Современная техника нашла много других способов выплавки сталей и сплавов. Легированные стали с широким диапазоном изменения физических и механических свойств получают по сравнительно простой технологии в многотонных сталеплавильных агрегатах. К булату остался сегодня только исторический интерес. Но идеи, заложенные в выборе сходных материалов для получения булата, в способах его производства, в его строении и свойствах, живут до сих пор. То, к чему древние ремесленники пришли эмпирически и чего П. П. Аносов добился кропотливым и упорным трудом, сегодня служит металлургам научной основой для получения материалов с высокими физико-механическими и служебными характеристиками.

Сначала на базе исследований булата были разработаны многие классические идеи металлографии стали и сплавов; а затем — и приемы его приготовления, и высокие свойства его необыкновенной структуры начали широко использоваться при разработке самых различных технологических процессов получения сталей, сплавов и композиционных материалов.

В проблемной лаборатории Донецкого политехнического института некоторое время назад появился удивительный нож. Для того чтобы заточить его лезвие, понадобился алмазный круг, обычный наждак не брал. После рубки ножом толстых гвоздей на его поверхности не оставалось даже царапины. Но самое удивительное, что этот нож, так же как и булат, был сделан не из легированной стали, а из простого сплава железо—углерод.

Впрочем, сплав был не такой уже простой, он содержал 3,5% углерода. По составу это был чугу́н... Несмотря на это, сплав отлично ковался и прокатывался. Резцы и фрезы из него неплохо обрабатывали сталь и не уступали по прочности инструменту из легированной инструментальной стали. Как тут не вспомнить легендарные рельсы из Катав-Ивановска, которые так помогли уральцам в тяжелые времена Отечественной войны!

Только теперь свойства чудо-ножа можно легко научно объяснить. Нож был приготовлен из сплава, специально очищенного от вредных примесей и мельчайших частиц неметаллических включений. А в этих условиях карбидам железа выпадать трудно.

Электронно-микроскопический и масс-спектрографический анализы показали, что углерод в сплаве находится в необычном аморфном состоянии, при котором он, увеличивая прочность и твердость металла, не делает его хрупким. Предвидение П. П. Аносова о различном состоянии углерода в железе и влиянии этого состояния на качество стали научно подтвердилось.

Уже не раз подчеркивалось: П. П. Аносов был уверен, что своими высокими свойствами булат обязан чистоте исходных материалов — железу и графиту. Читатель, очевидно, помнит, что при получении железа кричным или пудлинговым процессом значительная часть поверхности металла, так же как и при получении чугуна в доменной печи, контактировала с жидким шлаком. Шлак, как губка, впитывал и растворял вредные примеси и неметаллические включения, обеспечивая тем самым высокую чистоту пудлинговой стали.

Как уже отмечалось, современную сталь получают многоступенчатым процессом. Простейший из них — это доменная печь, а затем сталеплавильный агрегат, мартен, электропечь или кислородный конвертер. Готовую сталь разливают в слитки. Такая схема получения стали высокопроизводительна, но она часто не обеспечивает необходимую чистоту металла по вредным примесям. Что касается неметаллических включений, то мало того, что их трудно удалить во время плавки, они еще в значительных количествах попадают в сталь из материалов сталеплавильных агрегатов и ковша. Поэтому в наши дни чистота стали еще более актуальна, чем в аносовские времена.

Как же металлурги решают эту проблему? А все так же: пытаются использовать для очистки стали от ненужных компонентов ее взаимодействие с жидким шлаком.

Сначала такие процессы организовывались непосредственно в сталеплавильных агрегатах путем так называемого диффузионного раскисления. Его сущность состоит в продолжительном рафинировании металла в печи под восстановительным шлаком. В период рафинирования жидкая сталь взаимодействует со шлаком, в результате чего он отбирает у нее кислород и серу. Оказалось, что скорости этого процесса очень малы из-за относительно небольшой поверхности соприкосновения рафинирующего шлака с металлом.

Исчерпав возможности улучшения качества стали в сталеплавильных агрегатах, ученые и инженеры предложили внепечной способ ее очистки от

вредных примесей. Еще в 1925 году советский инженер А. С. Точинский успешно рафинировал сталь жидкими синтетическими шлаками после слива ее из печи в ковш. Первые опыты по такой обработке стали в СССР были проведены в 1928 году, но не получили распространения из-за того, что предложенные в то время синтетические шлаки не обеспечивали должной десульфурации стали. Позднее опыты были продолжены во Франции, где Р. Перрен более успешно решил поставленную задачу.

Наиболее эффективного рафинирования металла жидкими синтетическими шлаками достигли ученые С. Г. Воинов, А. Г. Шалимов, Л. Ф. Косой, Е. С. Калинин в 1958—1962 годах. Суть предложенного ими способа заключается в следующем. В ковш вначале заливают необходимое количество синтетического шлака требуемого состава, а затем на этот шлак по возможности с большей высоты мощной струёй выпускают металл из сталеплавильного агрегата. Жидкий синтетический шлак разбрызгивается, и его капли «прилипают» к металлу. В результате этого поверхность соприкосновения металла и шлака неизмеримо возрастает, что и приводит к быстрому удалению из стали серы и неметаллических включений.

Промышленный опыт применения новой технологии рафинирования металлов подтвердил его эффективность для малолегированных сталей, выплавляемых в мартеновских печах или кислородных конвертерах. Однако, как оказалось, поверхность взаимодействия жидкой стали со шлаком и в этом случае недостаточно велика. По этой и другим причинам требуемого качества некоторых легированных сталей получить не удалось.

И тогда в Институте электросварки им. Е. О. Патона группой исследователей (Б. И. Медовар, Ю. В. Латаш, Б. Н. Максимович) под руководством академика Б. Е. Патона был разработан оригинальный способ получения высококачественной стали с помощью того же жидкого шлака. Новый процесс получил название электрошлакового переплава. В его основу был положен электрошлаковый процесс плавления расходуемых электродов в сочетании с принудительным формированием слитка в металлическом (медном) водоохлаждаемом кристаллизаторе (изложнице).

Созданная установка оказалась удивительно простой. По тонкой многометровой колонке движется держатель с расходуемым электродом, сделанным из выплавляемой марки стали. Электрод медленно опускается в медный кристаллизатор с расплавленным в нем синтетическим шлаком специально подобранного состава. В начале плавки после подачи электрического тока между кристаллизатором и электродом образуется дуга, горящая под слоем твердого сыпучего флюса. Флюс, расплавляясь, образует электропроводный жидкий шлак, который полностью шунтирует дугу. Начинается бездуговой процесс, получивший название электрошлакового. Выделяемое тепло медленно плавит стальной электрод, и капли жидкого металла, проходя через толщу шлака, попадают в кристаллизатор, где постепенно наращивается стальной слиток. Благодаря тому что каждая капля жидкого металла проходит через шлак, поверхность взаимодействия стали со

шлаком огромная, и это обеспечивает достаточно полную очистку стали от ненужных компонентов.

Так вот, в Донецком политехническом институте использовали установку электрошлакового переплава для получения сплава железа с углеродом. Для этой цели стальной расходуемый электрод заменили графитовым, а в синтетический шлак порциями подавали металлизированные железные окатыши (комки руды, содержащие металлическое железо и его окислы). Окислы железа восстанавливались, железо плавилось, насыщалось углеродом, очищалось шлаком от вредных примесей и неметаллических включений и стекало в кристаллизатор. Так древний одностадийный способ получения незагрязненного вредными примесями высокоуглеродистого сплава был осуществлен на современной научно-технической основе.

Однородность или неоднородность?

Как мы уже выяснили, в начале XIX века существовали два совершенно противоположных подхода к природе стали, обеспечивающих ее высокое качество. Ле-Шателье и Карстен, известные западноевропейские металлурги, полагали, что хороший металл должен обладать однородной структурой: «Чем красивее структура, тем она хуже с точки зрения практики». П. П. Аносов считал, что чем неоднороднее металл, тем более подчеркивается неоднородность рисунком, тем выше свойства стали.

Современная наука подтвердила правомерность обоих этих взглядов. Каждый из способов был использован для получения высокопрочных материалов.

В последние годы с большим успехом развивается совершенно новое направление производства «однородных» сплавов—получение так называемых аморфных металлов. Жидкий сплав охлаждают с огромной скоростью, благодаря чему он переходит в твердое состояние, минуя кристаллическую фазу. Свойства таких «стеклообразных» металлов очень высокие. Так, например, прочность аморфного сплава железо—углерод— фосфор в 10 раз больше обычного (кристаллического). Кроме того, подобно железу, падавшему на Землю из космического пространства, аморфные сплавы обладают высокой стойкостью против атмосферной коррозии.

И все-таки слоистая структура булата и способы ее получения лежат в основе технологии производства материалов, также превосходящих по прочности обычные «однородные» стали. Для того чтобы понять природу упрочнения слоистых материалов, давайте мысленно продедем такой эксперимент. Возьмем кусок картона и попробуем его разорвать. После этого наклеим на картон обычную бумагу и вновь испытаем его прочность на разрыв. Как, по-вашему, она увеличилась? Ответ настолько ясен, что вопрос, вероятно, вызовет улыбку читателя.

Между тем только в 30-е годы нашего столетия было обнаружено, что прочность двух сваренных между собой пластинок из твердой и мягкой стали значительно выше прочности каждой из них в отдельности. Такой эффект

повышения прочности слоистого материала считался крупным научным открытием нашего времени!

Алексей Максимович Горький часто показывал своим гостям три небольших металлических бруска. Это первые самозатачивающиеся резцы, сделанные в 1926 году талантливым ученым и изобретателем А. М. Игнатьевым — большим другом писателя. Каждый резец состоит из нескольких металлических слоев разной твердости. Булатную структуру инструмента автор изобретения заимствовал у... бобров. Он заметил, что самозатачивающиеся зубы бобров и других грызунов состоят из твердых наружных слоев и мягких внутренних. Изобретение А. М. Игнатьева было в свое время запатентовано в США, Англии, Франции и многих других странах.

Сегодня слоистые материалы находят широкое применение в химической, электротехнической, машиностроительной, пищевой и других отраслях промышленности, а также в ювелирном деле и медицине. Представителями их являются биметаллические изделия, листы и ленты, изготавливаемые металлургической промышленностью. Такие изделия привлекают не только прочностью, но и высокими физико-химическими свойствами материала в целом. Основой для большинства биметаллов является обычная низкоуглеродистая сталь, плакированная (покрытая) коррозионно-стойкими и кислотоупорными сплавами, никелем, кобальтом и титаном. Толщина покрытия обычно составляет 10—50% от общей толщины. Эксплуатационные свойства таких биметаллов изменяются в широких пределах.

В качестве основы для покрытия применяются также углеродистые и легированные стали и чугуны. Знаменательно, что, подобно булату, двухслойные и трехслойные углеродистые легированные и инструментальные стали нашли широкое применение для производства различного инструмента, промышленных ножей, пил, штампов, лемехов и лущильников тракторных плугов.

Как тут не вспомнить заключительные строки сочинения П. П. Аносова «О булатах»: «Оканчиваю сочинение надеждою, что скоро... наши земледельцы будут обрабатывать землю булатными орудиями, наши ремесленники выделывать свои изделия булатными инструментами, одним словом, я убежден, что с распространением способов приготовления и обработки булатов они вытесняют из употребления всякого рода сталь, употребляемую ныне на приготовление изделий, требующих особенной остроты и стойкости».

Многослойные металлы изготавливаются несколькими методами. Некоторые из них очень похожи на один из способов приготовления булата. В изложницу (форму), в которую заливают жидкую сталь, помещается несколько попарно скрепленных пластин плакирующего металла на некотором расстоянии друг от друга. Между поверхностями соприкосновения пластин каждой пары расположен слой разделяющего вещества. Заливкой в изложницу жидкого металла получают многослойный слиток, из которого после прокатки и обрезки кромок получают один трехслойный и два двухслойных листа. Подобным образом в изложнице устанавливают большее количество пластин и получают

слиток с 5—9 слоями. Можно с полным основанием утверждать, что таким способом можно делать и булат...

Металлические усы

Это произошло в Англии во время второй мировой войны. Новые, весьма необходимые автоматические приборы, используемые в военной технике, выходили из строя один за другим — замыкались контакты. Причину замыкания долго найти не могли. Наконец, после тщательного наблюдения установили: виновники аварии — тонкие волоски олова, выступавшие на тончайшей оловянной пленке, нанесенной на сталь. Волоски состригли, и приборы начали работать. Через некоторое время контакты вновь замкнулись, и исследователи опять обнаружили все те же волоски олова. Сколько их в дальнейшем ни «стригли», они вырастали вновь. Волоски были названы усами.

После войны многие ученые начали исследовать причины появления усов, определять их свойства. Ус имел толщину около 1,5 мк. Оказалось, что тончайший ус обладал колоссальной прочностью. Если бы такой волосок имел сечение в 1 мм^2 , он бы выдержал нагрузку в несколько сот килограммов! Это значит, что прочность металла близка к теоретической. Рентгеноструктурный анализ помог разгадать чудесные свойства усов: они представляли собой почти бездефектные, «идеальные» монокристаллы чистого олова!

Как показали дальнейшие эксперименты, отсутствие дефектов в усах объяснялось условиями их роста и малыми размерами. Они росли столь быстро, что дефекты просто не успевали возникнуть. Стоило увеличить размеры усов, дефекты кристаллической решетки появлялись, и прочность резко падала. Было обнаружено, что усы даже после рождения могут быстро «портиться» за счет появления примесей в результате окисления их поверхности. Поэтому надо было принимать специальные меры для хранения выращенных усов. Поскольку усы состояли из отдельных нитей, их называли также нитевидными кристаллами.

Сегодня существует более 100 способов получения монокристаллов. Наиболее совершенными свойствами обладают нитевидные кристаллы, полученные осаждением из газовой фазы. В трубчатую печь помещают алундовую или кварцевую лодочку с хлористой солью металла. При нагреве происходит возгонка соли. Через печь пропускают водород, который восстанавливает соль до металла. Нитевидные кристаллы появляются на стенках лодочки в виде пушистых наростов — усов. Рост нитевидных кристаллов связан с влажностью, чистотой и количеством соли, стабильностью режима восстановления. Определяющими всегда являются температура и скорость восстановления.

В Советском Союзе в 60-х годах Е. М. Савицкий с сотрудниками получил нитевидные кристаллы почти всех тугоплавких металлов. В настоящее время получают нитевидные кристаллы чистых металлов размером 2—10 мм и толщиной от 0,5 до 2,0 мк, практически лишенные дефектов кристаллической решетки. Эти монокристаллы обладают прочностью, близкой к теоретической.

Так, например, предел прочности монокристаллов железа составляет 13 000 МПа, меди — 3000 и цинка 2000 МПа, в то время как техническое железо имеет предел прочности 300 МПа, медь — 250 и цинк 180 МПа.

Исследование поверхности нитевидных кристаллов показало, что она не имеет микроскопических трещин, остается «атомно гладкой». Кристаллическая решетка усов характеризуется почти полным отсутствием дислокации. Таким образом, отсутствие в металле примесей при определенных условиях обеспечивает бездефектную структуру его кристаллов. Бездефектная структура чистых («однородных») металлов является надежным способом повышения их прочности.

Вот они, современные булаты

С современной точки зрения булат — композиционный материал, состоящий из двух металлических фаз. Одна из фаз — мягкое железо, другая — высокоуглеродистая сталь. Таким образом, булат представляет собой объемное сочетание разнородных компонентов, один из которых пластичный, а другой обладает высокой прочностью.

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» предусматривается дальнейшее повышение качества продукции на основе всемерного использования достижений научно-технического прогресса. Большое внимание при этом обращается на улучшение качества металлов и сплавов с целью обеспечения их высокой прочностью, износостойкости, долговечности, коррозиестойкости. Одним из перспективных путей решения этих задач является создание композиционных материалов.

Очень близки по своему строению к булату так называемые естественные композиционные стали, представляющие собой композиции из мягкой матрицы и распределенных в ней высокопрочных волокон второй фазы, значительно более прочной, чем сама матрица.

Подобно тому как в древности люди присматривались к волокнам древесины, чтобы научиться ковкой повышать прочность железа, в наше время — стремятся заимствовать у природы строение и свойства композиционных материалов. Только делается это на высокой научной основе. Известно, что древесина представляет собой композицию целлюлозы с лигнином. Волокна целлюлозы обладают высокой прочностью на разрыв, но низкой на срез. Лигнин связывает волокна в единое целое и сообщает древесине жесткость. На этом принципе и были созданы новые материалы, представляющие собой композицию из мягкой основы (матрицы) и высокопрочных волокон или пластин, выполняющих роль ее арматуры. В таком материале, так же как и в древесине, основную часть нагрузки воспринимают волокна, а матрица служит средой, передающей нагрузку от одного волокна к другому.

Во всяком компактном материале, например в легированных сталях и сплавах, нагрузку воспринимает материал в целом. Поэтому возникшая трещина быстро распространяется и приводит к хрупкому разрушению

металла. Чем выше прочность материала, тем меньше его сопротивление хрупкому разрушению. В композиционном материале трещина, возникшая при разрушении прочного волокна или пластины, гасится мягкой матрицей. Поэтому наряду с высокой прочностью такие материалы обладают и высокой вязкостью, и в этом отношении они также как бы продолжают традиционные свойства булатной стали.

Любая доэвтектоидная сталь после закалки по определенному режиму может иметь феррито-мартенситную структуру. Но это еще не композиционный материал. Как же превратить его в композит? Для этого необходимо, чтобы участки мартенсита были слоистыми, то есть имели соизмеримые размеры в двух направлениях и намного меньший размер в третьем. Такую структуру получают при помощи термомеханической обработки.

Для получения композиций с направленной феррито-мартенситной структурой доэвтектоидную сталь прокатывают при температуре, обеспечивающей ей двухфазную структуру — аустенит и феррит (рис. 2). Непосредственно после прокатки сталь закалывают, и слои аустенита превращаются в мартенсит, а феррит остается в прежнем состоянии. Это и приводит к образованию композиции из слоистого мартенсита, расположенного в мягкой ферритной матрице.

Так же как и булатная структура, структура композиционной феррито-мартенситной стали обеспечивает увеличение ее прочности более чем в 2 раза по сравнению с обычной сталью такого же состава. Так же как и в булате, прочные, твердые слои мартенсита соединены с мягкой пластичной ферритной матрицей, и в связи с этим композиционная сталь имеет более высокую вязкость и смещение порога хрупкого разрушения к более низким температурам.

Знаменательно, что идеи Д. К. Чернова о возможности получения булатной структуры, используя структуру эвтектоидного или эвтектического типа, практически полностью воспроизведены в так называемых эвтектических и эвтектоидных композициях. Получение этих композиций связано с использованием различных фазовых превращений в сплавах, в частности с кристаллизацией жидкости (эвтектическое превращение) или с превращением в твердом состоянии (эвтектоидный распад). В результате эвтектического превращения в системе образуются две или более твердые фазы, выпадаемые одновременно в виде механической смеси, называемой эвтектикой.

Одним из наиболее изученных и перспективных способов создания композиционных сплавов такого типа является направленная кристаллизация. Этот способ обеспечивает достаточно резко выраженную физически неоднородную структуру со строгой ориентацией фаз в пространстве. В эвтектических композициях реализуется идеальная структура — высокопрочные нитевидные кристаллы армируют пластичную и вязкую матрицу.

Не может быть сомнений в том, что, если бы П. П. Аносову предъявили такую структуру, он ее тотчас же назвал бы булатом...

Твердые, как алмазы

Очень высокая прочность и большая твердость материала достигается в искусственных композициях, которые еще в большей степени повторяют структуру булата. Принцип их создания давно известен. Подобно тому как в природном бамбуке мягкая целлюлозная матрица упрочняется жесткими и прочными нитями окиси кремния, принцип создания искусственных композиций заключается в сочетании (соединении) разнородных материалов. Еще в Древней Греции при строительстве Парфенонского храма широко использовались комбинированные материалы. Мраморные колонны храма армировались железными стержнями. В XVI веке при постройке храма Василия Блаженного в Москве знаменитые русские зодчие Барма и Постник применяли каменные плиты, армированные стальными полосами. Давно известен железобетон, который состоит из бетона, работающего на сжатие, и стальной арматуры, работающей на растяжение.

Новые композиционные материалы отличаются от обычных традиционных сплавов прежде всего булатной неравновесной структурой и очень высокими механическими свойствами.

Длительное время в качестве инструмента для обработки твердых материалов использовали алмаз. В производстве лампочек накаливания для волочения вольфрамовой нити применяли исключительно алмазные фильеры. Особенно дорого стоили алмазные фильеры для протяжки проволок больших диаметров. Естественно, что дорогостоящие и дефицитные алмазы всячески старались заменить каким-либо другим по возможности равноценным и дешевым материалом.

В начале XX века появились исследования, показывающие, что алмаз можно заменить твердыми и тугоплавкими, но более дешевыми карбидами металлов. Лучше всего для этой цели подходил карбид вольфрама. Попытки применить литой карбид вольфрама не дали положительных результатов — изделия имели низкую прочность и высокую хрупкость. Дальнейшие поиски показали, что хрупкость карбида вольфрама можно несколько уменьшить при сохранении высокой твердости посредством добавления железа, никеля и лучше всего кобальта. В 1923 году в Германии патентуется способ спекания карбида вольфрама с применением в качестве цементирующей связки кобальта до 10%. В более поздних патентах содержание кобальта увеличивается до 20%.

Положительный опыт использования твердых сплавов при волочении вольфрамовой проволоки открыл широкий путь для применения этого материала не только для фильер, но и в других областях техники в качестве твердосплавного режущего инструмента. Так, изделие, предназначенное для одной узкой цели — производства лампочек накаливания с вольфрамовой нитью, — получило совершенно непредвиденное вначале универсальное значение.

Впервые спеченный твердый сплав для режущего инструмента был получен на основе монокарбида вольфрама и кобальта в 1923—1925 годах германской фирмой «Осрам» по патенту немецкого инженера Шрёттера. В 1926 году

промышленное производство таких сплавов под названием «видиа» было начато фирмой «Крупп». Видиа оказался очень хорошим материалом для металлорежущих резцов, наконечников для напайки на сверла, пластинок для фрез, пил, зенкеров и разверток. Благодаря новому композиционному материалу оказалось возможным обрабатывать резанием такие стали и чугуны, из которых раньше можно было получать изделия только ковкой или литьем. Новый материал, как в свое время быстрорежущая сталь, произвел революцию в машиностроении.

В Советском Союзе появление спеченных инструментальных твердых сплавов относится к 1929—1930 годам, когда на Московском электроламповом заводе были изготовлены первые образцы такого сплава на основе карбида вольфрама и кобальта под названием «победит». Второй советский сплав на хромомарганцевожелезной основе был самым дешевым твердым сплавом из всех известных в мире. Долгое время, вплоть до Великой Отечественной войны, он был известен под названием «сталинит» и имел большое распространение. Его широко применяли для напайки деталей с целью предохранения от сильного износа при истирании, особенно для покрытия зубьев врубных машин, всевозможных дробящих механизмов, экскаваторов, шнеков. Одна из марок этого сплава (сталинит-2) по сопротивлению истиранию превосходила лучший зарубежный сплав— вокер.

Современная технология получения твердых сплавов состоит в следующем. Порошки карбида вольфрама и кобальта тщательно перемешивают, формуют в заготовки и спекают в вакууме при температуре 1400—1500°C. При этой температуре появляется жидкая фаза на основе кобальта, которая «склеивает» частицы карбида и обеспечивает получение компактного материала. Так же как и железо в булате, добавка кобальта к карбиду позволяет получить материал, обладающий одновременно высокой твердостью и достаточной прочностью и вязкостью.

Применение инструмента из спеченных твердых сплавов на основе карбида вольфрама и кобальта имеет огромное значение для промышленности. С помощью этого материала удалось в несколько раз повысить скорость резания при обработке металлов по сравнению со скоростями, применявшимися при использовании быстрорежущей стали. Замена стали «твердосплавными булатами» в производстве металлической проволоки повысила в 1000 раз стойкость волок—приспособлений, через калиброванные отверстия которых тянут проволоку.

При замене стальных штампов на твердосплавные их стойкость возрастает в 50—100 раз. Значительное применение получили твердосплавные буры, используемые в горном деле. Их стойкость в десятки раз выше, а скорости бурения в несколько раз больше, чем у стальных.

Повышение производительности труда при применении твердых сплавов во многих отраслях техники обеспечивает высокую эффективность работы дорогостоящего и дефицитного вольфрама. Так, например, по данным советского ученого В. И. Третьякова, инструментом из твердого сплава,

имеющего в своем составе 1 кг вольфрама, можно обработать в 5 раз больше металла, чем инструментом из быстрорежущей стали с тем же количеством вольфрама.

В последнее время получают распространение твердые сплавы на основе карбида титана с никель-молибденовой связкой. Сравнительно дешевый и недефицитный карбид титана в ряде операций обеспечивает достаточно высокую стойкость режущему инструменту.

Несмотря на эти достижения, поиск путей повышения износостойкости режущего инструмента продолжается. Одним из новых и важных источников решения этой проблемы является технология нанесения нитридных и карбидных износостойких покрытий на режущий инструмент, в том числе твердосплавный.

Харьковские инженеры-изобретатели А. Романов, Л. Саблев и А. Андреев разработали метод нанесения таких покрытий потоками высокотемпературной плазмы. Износостойкость обработанного в вакуумной камере потоками плазмы режущего инструмента в 3—6 раз больше, чем у обычного. Повышение стойкости объясняется образованием тонкой, но очень прочной пленки из нитрида или карбида титана на режущей кромке инструмента. Для реализации прогрессивной технологии в промышленных условиях создана специальная установка. И не случайно эта установка известна под названием «Булат»...

«Булат» получит широкое применение в одиннадцатой пятилетке. В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» указано: «Организовать производство в широких масштабах новых видов инструмента, в том числе с применением износостойких покрытий...» Структура, обеспечивающая сотни лет назад высокие режущие свойства булата, повторилась в современных твердых сплавах и износостойких покрытиях.

И все-таки полностью твердые сплавы заменить алмаз не могут. Только алмазные волокна способны длительное время противостоять разрушающему действию движущейся металлической 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. 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 в нашей стране был создан в конце прошлого века Константином Сергеевичем Алексеевым (Станиславским), которого мы знаем как выдающегося режиссера и основоположника системы воспитания актера. На московской фабрике «волоченого и плащенного золота и серебра», где начиналась его трудовая жизнь, выпускали тончайшую проволоку, канитель (тонкую витую проволоку), серебряные и золотые изделия из них. В производстве применялись чугунные волокна, с помощью которых процесс вытяжки тонкой проволоки был очень длителен («канительным») — как

теперь говорят). Применение алмазного инструмента затруднялось в связи с тем, что вплоть до конца XIX века производство волок 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 цех по изготовлению алмазных волок. На состоявшейся в 1900 году Всемирной промышленной выставке в Париже продукция золото-канительной фабрики получила высшие награды, а Константин Сергеевич был награжден медалью с дипломом выставки.

Как же обрабатывают алмаз, если он самый твердый из известных материалов? Долгое время алмазы служили только для украшений, но обрабатывать их не умели, и изделия из них выглядели порой весьма тускло. В 1475 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 алмаз лимонного цвета, придав ему форму, напоминающую розу. Затем был отполирован легендарный алмаз «Санси», купленный в свое время П. Н. Демидовым и привезенный в Россию. После полировки камни, сверкающие всеми своими гранями, стали очень красивыми. С того далекого времени по сей день алмазы обрабатывают алмазным же инструментом.

На станке, подобном токарному, алмазную заготовку обтачивают острыми выступами другой такой же заготовки. Распиливают, шлифуют или сверлят алмаз алмазным порошком, нанесенным на быстро вращающийся инструмент. В последнее время для ускорения обработки применяется вибрация инструмента с ультразвуковой частотой.

При обработке алмаза алмазными резцами в отходы превращается больше половины драгоценного кристалла. Таким образом, процесс обработки алмаза очень трудоемкий и дорогой. Но это еще не все. Оказывается, 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 ромбододекаэдра.

В последнее время для обработки алмаза начали использовать луч лазера, который выжигает вещество. Импульс света делает в алмазе воронку. Серией импульсов, направленных в одну точку, алмаз сверлят, а располагая импульсы в ряд—режут. При лазерной обработке поверхность воронок трескается из-за сильных термических напряжений. Слои алмаза, нарушенные лазером, приходится удалять с помощью все той же механической обработки.

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, найден в Якутском филиале Сибирского отделения АН СССР. Он

основан на явлении, давно известном металлургам,— растворении алмаза в железе. Помните, как П. П. Аносов вводил алмаз в сталь, надеясь получить новую форму существования в ней углерода? Зная об этом, нет причины удивляться тому, что железом можно резать алмаз!

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 углерод растворяет железо, никель и кобальт.

Много лет назад во Франции для подтверждения углеродной природы алмаза был проделан следующий эксперимент. Алмаз положили на брусок железа, который нагрели в нейтральной среде до 1000°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.

Читатель уже, наверное, догадался, как можно железом резать алмаз. Действительно, 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! Но беда 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, из железной проволоки надо все время убирать углерод, тогда она не будет терять своих режущих свойств. Но как это сделать? Якутские ученые дали исчерпывающий ответ на этот вопрос.

Дело в том, что при растворении алмаза в железе происходит разрыв прочных ковалентных связей, которые существуют между атомами углерода в решетке алмаза. В твердом растворе внедрения, который образуется в железе при 1000°C , углерод практически находится в атомарном состоянии, испытывая лишь слабое химическое взаимодействие с металлом-растворителем. Поэтому растворенные в железе атомы углерода значительно более активны, чем в алмазе. При температуре «резания» (1000°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 поместить тонкую железную пластинку и нагревать ее до указанной температуры в атмосфере водорода, 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, 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. А форма образующейся в алмазе полости с вертикальными стенками будет полностью соответствовать выбранной форме погружаемого в него железа или сплава на его основе.

Термохимическим способом обработки алмаза в Якутском институте геологии «гравировали» на его кристаллах всевозможные рисунки, вырезали шестеренки, делали отверстия заданного диаметра. Были разработаны также термохимические методы шлифовки и обработки некоторых видов поликристаллических алмазных пеков. Так система железо — алмаз нашла практическое применение почти через полтора года после опытов П. П. Аносова.

Легче алюминия и прочнее стали

Исследование свойств различных композиционных материалов показало, что не только по прочности, но и по другим физико-механическим свойствам они превосходят каждый компонент, входящий в их состав. Созданы композиционные материалы, выдерживающие большие нагрузки, подвергающиеся большому тепловому воздействию, выдерживающие частые и резкие смены температур. Например, введением волокон асбеста в керамику можно повысить в несколько раз ее способность выносить тепловые удары. Волокна асбеста, как стальная арматура железобетона, связывают зерна огнеупора и удерживают их при резких перепадах температур от распада. Если изготовить трубку из керамической массы шамота, добавив в качестве высокотемпературного связующего скелета волокна каолина, то термостойкость шамота возрастает в десятки и даже сотни раз. Без подобных материалов сегодня немыслимы атомоходы, сверхзвуковые самолеты и космическая аппаратура.

Волокнистые композиционные материалы конструируются из металлической или керамической основы и упрочняющего волокна различного строения. Для получения волокон в зависимости от необходимых свойств используют самые разнообразные материалы: проволоку из молибдена или вольфрама, жаропрочной и жаростойкой стали, окись алюминия, каолин, графит, различные бориды, карбиды и нитриды. Каждый из таких волокон обеспечивает материалу определенный комплекс свойств. Введение волокон в матрицу чаще всего осуществляется методом формования волокон и порошка материала для матрицы или пропиткой волокон жидким металлом матрицы.

Очень напоминают технологию приготовления сварочного булата методы производства волокнистых композиционных материалов, упрочненных проволокой. Такие материалы разделяются на армированные проволоками, армированные сетками и армированные проволочными волокнами ограниченной длины. В последнем случае отдельные проволочные волокна располагаются в матрице в виде включений.

Прочность кобальта, нихрома и других сплавов, армированных вольфрамовой или молибденовой проволокой при температурах 300—1100° С, повышается в несколько раз. Армирование серебра волокнами окиси алюминия повышает его прочность в 5 раз. Алюминий, упрочненный волокнами окиси кремния, имеет прочностные свойства лучших алюминиевых сплавов. По данным ряда исследований, введение в вольфрам частиц тугоплавких окислов или карбидов и боридов повышает его длительную прочность и срок службы в 25—50 раз.

Все большее значение приобретают в технике композиционные материалы, армированные монокристаллами — усами или нитевидными кристаллами. Нитевидные кристаллы повышенной прочности встречаются и в природе. К таким кристаллам можно отнести нефрит — разновидность минерала актинолита (лучистого камня, от греч. «актис» — луч, «литое» — камень). Нефрит состоит из игольчато-лучистых, иногда волосовидных агрегатов. Его цвет может меняться в зависимости от содержания в нем закиси железа от светлых зеленовато-серых тонов до темно-зеленых. С древнейших времен нефрит ценят как необычайно прочный поделочный камень. В Самарканде в мавзолее Гур-Эмир выделяется строгой красотой темно-зеленое нефритовое надгробие Тимура.

Мы уже рассказывали об огромной прочности металлических усов. Однако наиболее прочными из всех известных материалов являются графитовые нитевидные кристаллы — их прочность на растяжение достигает 20000 МПа, а модуль упругости составляет 10^6 МПа. И все это при относительной легкости материала. Известны два способа получения усов графита: в дуге с графитовыми электродами, горячей при высоком давлении, и при термическом разложении углеводородов.

Сапфир — одна из форм существования оксида алюминия. Нитевидные волокна сапфира получают из расплавленной окиси алюминия. Устройством для вытягивания волокон служит молибденовый капилляр, укрепленный на дне молибденового тигля. Расплав окиси алюминия при температуре плавления 2050° С поднимается по капилляру, захватывается затравкой, с помощью которой вытягивается волокно. Вытягивание волокон диаметром 0,1—0,5 мм производится с достаточно большой скоростью. Прочность сапфировых волокон при растяжении достигает 2600 МПа.

К сожалению, до настоящего времени не разработаны эффективные методы введения нитевидных кристаллов в различные матрицы. Не изучены также в достаточной мере методы предотвращения взаимодействия и достижения необходимой степени сцепления нитевидных кристаллов с матрицей. Это в значительной мере препятствует достижению высокого уровня упрочнения и позволяет использовать только малую часть чрезвычайно высоких свойств нитевидных кристаллов. Кроме того, производство нитевидных кристаллов пока еще очень сложно, и они еще очень дороги.

Правда, в настоящее время освоено промышленное производство усов сапфира и карбида кремния. Цена за последнее время на них снизилась более

чем в 200 раз. Волокна сапфира характеризуются высокой химической инертностью к металлам, что дает возможность использовать их в качестве упрочнителей никелевых, кобальтовых, титановых и других сплавов для работы при высоких температурах. Нитевидные кристаллы сапфира (прочность 7000 МПа) и карбида кремния (прочность — 12000 МПа) в будущем станут широко использоваться в качестве армирующих материалов.

Для эффективного использования волокон, как уже отмечалось, необходимо решить проблему хорошего сцепления твердых и прочных нитевидных кристаллов с мягкой и пластичной металлической матрицей. Разрешима ли эта проблема? Оказывается, да! Недавно было найдено, что покрытие из сплава железо—никель—кобальт, нанесенное на поверхность усов сапфира вакуумным напылением, обеспечивает достаточно прочное сцепление волокон этого материала со сплавом никель—палладий. Установлено также, что предварительная обработка поверхности углеродных волокон или нанесение на них барьерного слоя металлов, карбидов или нитридов значительно улучшает их смачиваемость металлом матрицы, а следовательно, и прочность сцепления с ней.

В связи с этим весьма перспективным становится композиционный материал на основе углеродного волокна. Хотя углеродное волокно известно более 70 лет, интерес к нему возник сравнительно недавно, после того как был разработан процесс получения высокопрочных и высокомодульных углеродистых волокон из полиакрил-нитрида. Этим методом при низкотемпературной графитизации получают углеграфитные волокна прочностью 3500 МПа. Углеграфитные волокна выпускаются в виде нитей, содержащих 1000—2000 элементарных волокон.

Давайте представим себе, что ученые и инженеры нашли метод получения дешевых углеграфитных волокон, а еще лучше — нитевидных кристаллов графита, и разработали эффективную технологию армирования такими кристаллами алюминия или пластмассы. Такой материал может быть в 2—6 раз прочнее легированных сталей и гораздо легче самого легкого металла — алюминия. Но этого мало, материал на основе алюминия должен легко подвергаться горячей деформации при 500—550° С, а на основе пластмассы — 100—120° С. Последний можно «ковать», например, нагревая в воде или паре.

Автомобиль из такого материала будет в 3—4 раза легче, его сумеет поднять один человек... Кроме того, в любых погодных условиях кузов автомобиля не будет подвержен атмосферной коррозии, а расход горючего сократится в несколько раз. Фантазия? Нет. Фирма «Форд» уже сделала опытный образец такого легкового автомобиля — его стоимость составила 3,5 миллиона долларов!

Появление сравнительно дешевых автомобилей из прочных и легких композитов — дело недалекого будущего. Получение и применение композиционных материалов в промышленности развивается быстрыми темпами. Так, первый высокопрочный композиционный материал, армированный нитевидными кристаллами, был получен в 1961 году, а в 1975 году такие

композиции уже применялись в газотурбинных двигателях, корпусах глубоководных аппаратов в качестве пропитанных тканей, тросов, кабелей и других изделий. Есть все основания надеяться, что скоро композиты будут армировать волокнами с пределом прочности 7000—15000 МПа, а промышленность в достаточно большом количестве будет производить дешевые композиционные материалы на их основе. Итак, будущее за материалами со структурой типа булата.

Сварка по-дамасски

При изготовлении булата и дамасской стали большую роль играли процессы диффузии (перемещения) углерода из жидких, полужидких или твердых масс высокоуглеродистой стали в частицы малоуглеродистого железа, обеспечивающие сварку этих разнородных материалов. Сегодня подобные процессы называют диффузионной сваркой.

Можно ли приварить к стали стекло? Конечно, традиционные способы сварки не могут обеспечить соединение разнородных материалов: металл и неметаллический материал для них несовместимы. Преодолеть барьер такой несовместимости помог сравнительно недавно открытый в СССР Н. Ф. Казаковым способ диффузионного соединения материалов в вакууме и газовых средах. В последние годы диффузионная сварка нашла широкое применение при соединении различных металлов и сплавов между собой и с неметаллическими материалами, в том числе и со стеклом.

Современный процесс диффузионной сварки заключается в следующем. Две детали помещают в вакуумную камеру специальной установки и располагают так, чтобы их свариваемые поверхности хорошо стыковались. Для этой цели стыкующиеся поверхности предварительно шлифуются, после чего обезжириваются каким-либо растворителем. В процессе сварки детали сжимают при помощи гидравлического устройства. Величина прилагаемого давления должна быть достаточной, чтобы в результате деформации поверхности соединяемых деталей все пустоты в области стыка заполнялись свариваемыми материалами. После сжатия в вакуумной камере повышают температуру. Температура сварки для однородных металлов составляет 0,5—0,7 температуры их плавления. При соединении разнородных материалов температура несколько ниже.

Тесный контакт свариваемых поверхностей и исключение их окисления обеспечивают взаимную диффузию атомов контактирующих материалов. Сварочное соединение образуется в результате диффузии атомов через поверхность стыка как в твердом, так и в жидком состоянии. Примечательно, что если процесс соединения протекает при наличии жидкой фазы, то потребность в давлении отпадает, благодаря тому что происходит предварительное смачивание соединяемых поверхностей жидкой пленкой. Таким образом, в последнем случае способ диффузионной сварки повторяет почти в точности, конечно, на современном научном техническом уровне древние приемы, обеспечивающие высокое качество булату.

Под руководством Н. Ф. Казакова разработаны промышленные методы диффузионной сварки разнообразных металлов и неметаллических материалов. Металлы сваривают со стеклом, керамикой, графитом, полупроводниками и другими неметаллами. Диффузионная сварка обеспечивает создание конструкций, в которых соединения обладают новыми свойствами и прочностью, превышающей прочности исходных материалов. Она делает возможным образование таких форм и соединений, которые не могли быть изготовлены ранее известными способами. Недаром разработанный в Советском Союзе способ диффузионной сварки в вакууме и оборудование для нее запатентованы в США, Японии и ряде стран Западной Европы.

Итак, диффузионная сварка в вакууме или защитном инертном газе обеспечивает прочное соединение между металлами и сплавами. В древности не умели создавать вакуум и не знали газовых защитных сред. Поэтому древние мастера при изготовлении сварочных булатов для предохранения от окисления свариваемых поверхностей пользовались специальными флюсами. Этот факт натолкнул нас на идею, что возможно диффузионное соединение металлов и сплавов на воздухе без применения вакуумного оборудования — при использовании для растворения адсорбированных на свариваемых поверхностях оксидов пленки жидкого флюса (шлака).

Состав флюса был подобран так, чтобы температура его плавления была на 100—200° С ниже температуры сварки. Кроме того, жидкий флюс (окисный расплав) растворял оксиды железа и легирующих элементов и легко выдавливался сварочными поверхностями при заданном давлении.

Процесс сварки производился следующим образом: свариваемые поверхности двух образцов шлифовались и обезжиривались, после чего они помещались в специальную установку, где осуществлялось обволакивание их пленками жидкого флюса под необходимым давлением. Полученные соединения стали 45 и чугуна, стали 45 и нержавеющей стали, стали 45 и быстрорежущей стали оказались достаточно прочными. Прочностные испытания образцов под действием ударной нагрузки показали, что разрушение происходит не по сварному шву. Металлографическим анализом установлено: диффузия углерода и легирующих элементов обеспечивает формирование прочного сварного соединения. Таким образом, древний метод диффузионной сварки, использовавшийся дамасскими кузнецами, нашел применение в современной технике.

От крицы к крице

Каждый знает, что без генератора двигатель автомобиля работать не может. Ни один генератор не будет работать без медно-графитовых щеток, которые забирают электрический ток с коллектора электромашин.

Сегодня изготовление медно-графитовой щетки не является проблемой, однако в процессе создания этого материала ученые столкнулись с немалыми трудностями. Дело в том, что графит не растворяется в меди, и поэтому получить этот материал традиционным методом сплавления невозможно.

Можно, правда, расплавить медь и путем интенсивного перемешивания в ней порошка графита создать медно-графитную эмульсию. Если такая эмульсия будет кристаллизоваться (затвердевать) в условиях невесомости (например, на космическом корабле), то ее состав после затвердевания получится однородным. Изготовленный таким образом материал мог бы применяться для медно-графитовых щеток. Но сегодня такая «космическая» технология является, конечно, неприемлемой для промышленности. В условиях земного тяготения легкие частицы графита не распределяются равномерно в меди, обладающей значительным удельным весом. Поэтому сплавлением получать однородный медно-графитовый материал практически невозможно.

Как же ученые решили эту достаточно сложную задачу? Они нашли способ производства медно-графитных щеток, как две капли воды похожий на старинный способ получения... сварочных булатов.

Есть сведения, что в X веке арабы применяли такую технологию для изготовления клинков из сварочного булата: из прокованных железных криц получали опилки, которые слегка окисляли, сваривали горячей ковкой и выжимали заготовку для клинка. Аналогичный способ производства мечей применялся и древними германцами. Стальной порошок перед сваркой подмешивался в корм птицам и пропускался через их пищеварительный тракт. Процесс пищеварения способствовал равномерному окислению порошка, а взаимодействие с птичьим пометом, содержащим углеродно-азотистые органические соединения, приводило к его цементации и азотированию. Полученный ковкой и сваркой такого порошка сварочный булат обладал высокими свойствами, поскольку частицы железного порошка, из которых он был «спечен», имели твердые, изностойкие карбидные или нитридные оболочки и пластичные, вязкие сердцевинки.

Так вот, медно-графитные щетки готовятся подобным образом. Сначала тщательно смешивают порошки меди и графита, затем путем прессования в специальных пресс-формах готовят прессовки из полученной смеси и спекают их при высокой температуре в печах с нейтральной или восстановительной атмосферой. В наше время подобные методы получения металлических сплавов и других материалов относят к порошковой металлургии.

Порошковая металлургия как искусство получения губчатого металла, металлических порошков и изделий из них появилась в глубокой древности. Порошки золота, меди и бронзы применяли как краски и использовали для декоративных целей в керамике и живописи. Ювелирные изделия, полученные спеканием засыпанных в соответствующие формы порошков золота и серебра, встречаются среди сокровищ египетских фараонов, вавилонских царей и древних инков. В дальнейшем этот способ получения металлических изделий был практически забыт.

Заслуга возрождения порошковой металлургии и превращения ее в технологический процесс производства металлических изделий принадлежит русскому металлургу П. Г. Соболевскому, который в первой половине XIX века

совместно с В. В. Любарским разработал технологию прессования и спекания платинового порошка.

А случилось это так. В 1819 году на Урале в Верх-Исетском округе были открыты значительные залежи платины. Платина на Урале была известна давно — ее зерна часто находили при добыче золота. Вплоть до XVIII века никакого применения они не находили, и поэтому зерна платины либо сбрасывали в отвалы, либо местные охотники использовали их как дробь при стрельбе. Открытые большие залежи чистой платины долгое время оставались неиспользованными, и никто не знал, как и на что их употребить.

В 20-х годах XIX века русские финансы находились в весьма плачевном состоянии, и золота для чеканки монет не хватало. Министр финансов Е. Ф. Канкрин решил заменить золото платиной. Он поручил известному металлургу П. Г. Соболевскому организовать чеканку платиновых монет. Но как это осуществить, если температура плавления платины очень высокая (1773°C) и расплавить ее в то время было невозможно, а под молотом она не ковалась и даже не раскалывалась при ударах на наковальне?

И все-таки П. Г. Соболевский и его коллега В. В. Любарский нашли способ производства изделий из платины. Они растворили ее в царской водке, добавили хлористый аммоний и выделили платину из раствора в виде комплексной соли. Прокаливая эту соль на воздухе, можно было получать платиновую губку, которая легко размалывалась в порошок. Порошок прессовали в холодном состоянии в специальных формах. Прессовку нагревали и в одних случаях спекали, а в других проковывали в различные изделия. В 1826 году были получены проволока, чаши, тигли, медали и даже слиток. С 1828 года Монетный двор начал серийный выпуск платиновых монет. На эти цели было употреблено 900 пудов соли (около 15 тонн) платины. Россия стала первой в мире страной, которая реализовала промышленную технологию порошковой металлургии платины. Англичанин Волластон только в 1829 году предложил аналогичный способ получения компактной платины. Знаменательно, что платиновые монеты, выпущенные к Московской Олимпиаде-80, были изготовлены также методом порошковой металлургии.

В XX веке порошковая металлургия становится наукой и отраслью промышленности. В настоящее время порошковой металлургией называют область техники, охватывающую совокупность методов изготовления порошков металлов и неметаллических материалов, а также полуфабрикатов и изделий из них. Методами порошковой металлургии получают ряд материалов, которые подобно платине и медно-графитовым щеткам трудно или невозможно получить традиционными методами. Вольфрамомедные, железокерамические, металлостекольные, алюмографитовые, боропластмассовые и ряд других подобных материалов с равномерно распределенными частицами нерастворяющихся друг в друге фаз получают только путем спекания или горячего прессования заготовок из хорошо перемешанных порошков этих компонентов. В некоторых из перечисленных материалов достигнуто увеличение прочности примерно в 10 раз при сохранении низкого удельного

веса.

Спрессованные и спеченные из металлических порошков изделия получают пористыми. Эти свойства используются для изготовления фильтров. В настоящее время изготавливают фильтры из порошков меди, бронзы, латуни, никеля и нержавеющей стали. Фильтры используют в автомобильных и авиационных двигателях для фильтрации масла, в дизелях для фильтрации горючего, в газопроводах для очистки газов от пыли, в пищевой и химической промышленности для фильтрации щелочей и кислот.

На основе железного порошка созданы различные антифрикционные изделия.

Из металлических порошков получают также большое количество фрикционных изделий, работающих в узлах высокого трения. Износостойкие фрикционные изделия из порошковых сплавов широко используют в тормозных устройствах различных машин и механизмах.

Особое значение приобрели порошки быстрорежущих сталей, легированных вольфрамом, молибденом, ванадием. Карбиды этих элементов, придающие стали износостойкость при высоких температурах, распределяются в ней неравномерно. Это явление, называемое ликвацией, значительно снижает стойкость режущего инструмента.

Ликвация связана со сравнительно медленной кристаллизацией стали в изложницах (формах). Если обеспечить очень быстрый переход стали из жидкого в твердое состояние, то ликвацию можно практически полностью устранить. Но можно ли это сделать? Да, можно — путем распыления жидкой стали специальными форсунками в защитной атмосфере и получением из нее порошка. Осуществляется это следующим образом: расплавленная сталь протекает через небольшое отверстие и разбивается струями азота или аргона на мельчайшие брызги. Остывая, они стальным порошком падают в металлосборник. Скорость охлаждения частиц расплавленного металла в сотни раз выше той, которая характерна для монолитного металла в ходе его кристаллизации в слитке. Благодаря этому почти полностью устраняется ликвация, стойкость инструмента из порошковой стали увеличивается в несколько раз.

Чтобы получить из порошка заготовку для инструмента, надо миллионы порошинок превратить в компактный металл. Порошок насыпают в металлические капсулы, герметически закрывают их и прессуют. Полученные заготовки «перековываются» в любой нужный профиль. Правда, процесс этот идет не под молотом, а под скоростным гидравлическим прессом. Как тут не вспомнить о японских кузнецах, которые с древних времен аналогичным способом получали высокоуглеродистые стали для инструмента. Они дробили крицу в мелкий порошок, науглероживали его в горне и сваривали под молотом в специальную заготовку. Такие заготовки в Японии были известны под названием «уваган». Уваган в твердом состоянии приваривался к куску мягкого железа, после чего изделие подвергалось термической обработке.

Готовый инструмент имел очень твердый, износостойкий наконечник и

мягкую упругую сердцевину. Вот уж поистине новое—это забытое старое. Но старое, повторенное, конечно, на более высоком уровне на современной технической основе.

Значительную роль приобретают в технике и другие изделия из металлических порошков. Подобно булату, многие из них обладают неравновесной структурой, представляющей собой относительно пластичную основу с равномерно распределенными в ней твердыми и прочными включениями.

Давно известно, что дисперсная (очень мелкая) фаза упрочняет сплав. Так, например, твердые дисперсные частицы цементита (карбида железа) упрочняют обычную углеродистую сталь. Высокая прочность никелевых жаропрочных сплавов в большинстве случаев обеспечивается наличием упрочняющей фазы — мелких частиц интерметаллического соединения никель-алюминий или никель-титан. Поэтому с увеличением в этом сплаве содержания алюминия и титана повышаются его механические свойства. К сожалению, при высоких температурах легированные никелевые сплавы разупрочняются вследствие растворения в них упрочняющей фазы. Стараний металлургов повысить жаропрочность никелевых и алюминиевых сплавов к положительным результатам не приводили до тех пор, пока на помощь не пришла порошковая металлургия.

В 1947 году было сделано сенсационное открытие: алюминиевые сплавы, полученные из чешуйчатого тонкодисперсного алюминиевого порошка путем брикетирования и горячего прессования, обладают очень высокими жаропрочными свойствами. Оказалось, что в таких сплавах упрочнение алюминиевой матрицы обеспечивается прочными и твердыми мелкодисперсными оксидами алюминия, которые отличаются высокой тугоплавкостью и стабильностью. А главное—они практически не растворяются в алюминии даже при температуре его плавления.

Алюминий, упрочненный частицами окиси алюминия, называют САП — спеченная алюминиевая пудра. В настоящее время промышленность производит несколько марок САП, которые применяются для самых разнообразных конструкций. САП сохраняет удельный вес алюминия и его высокую коррозионную стойкость. Его при

меняют вместо нержавеющей сталей и титановых сплавов.

Порошковые покрытия являются эффективным способом борьбы с коррозией металлов. Коррозионная стойкость стали с такими покрытиями возрастает в 3—5 раз по сравнению с лакокрасочной защитой! Например, 1 т порошкового покрытия может защитить от коррозии в течение 25—30 лет 40 тыс. т металлических конструкций мостов, опор линий электропередач, железнодорожных вагонов и других строительных сооружений. Что же касается узлов трения машин и механизмов, то здесь 1 т покрытий экономит до 100 тыс. рублей, повышая стойкость деталей в 5—10 раз.

Каждый, кто был в механическом цехе, видел огромное количество стружки. Она струится из-под резцов токарных станков, заполняя цехи, а потом и

заводской двор. 45—50% стали при изготовлении из нее изделий традиционными способами уходит в стружку. При изготовлении деталей из порошковых сталей стружке браться неоткуда. Поэтому коэффициент использования металла составляет здесь 90—95%! Не удивительно, что каждая тысяча тонн деталей из железного порошка в среднем дает в год около 1 миллиона рублей экономии, сберегает 2 тысячи тонн металла, освобождает 190 квалифицированных рабочих и 80 металлорежущих станков. Вот почему в нашей стране предусмотрено в одиннадцатой пятилетке увеличить производство металлического порошка более чем в 3 раза. Несомненно, что в недалеком будущем степень развития порошковой металлургии будет характеризовать металлургический потенциал страны в целом.

Получение конструкционных деталей из порошковых сталей включает следующие операции: получение железных порошков и порошков легирующих металлов, приготовление из них порошковой шихты заданного химического и гранулометрического состава, прессование (формирование) порошковой шихты для получения заготовок (прессовок) заданной формы и размеров и их спекание. После холодного формования механические свойства заготовок очень низкие. Для повышения механической прочности и придания изделиям необходимых физико-химических свойств сформованные заготовки спекают при температуре ниже температуры плавления железа. Спекание производят в среде восстановительного газа (водорода), инертного газа (аргона) или в вакууме.

В начальной стадии спекания между частицами сформованной заготовки существует немаetalлический контакт. По мере удаления влаги и восстановления окислов на поверхности частичек порошка контакт из немаetalлического превращается в metalлический. Последнее приводит к уменьшению размеров заготовок, уменьшению ее пористости и, следовательно, изменению свойств. Особенно резко после спекания повышается прочность изделия.

Но все-таки после спекания из-за остаточной пористости механические характеристики изделий из порошковой стали получаются недостаточно высокими. Поэтому они могут применяться, как правило, только для слабо- и средненагруженных деталей, не претерпевающих во время работы значительных динамических нагрузок.

Для обеспечения необходимой плотности порошковой стали применяется горячая штамповка пористых заготовок. Этот процесс в значительной мере повторяет древний способ получения железных изделий горячей ковкой пористых криц (губчатого железа). Более того, одновременно с горячей деформацией пористых заготовок, так же как и при ковке булатных клинков, часто удается использовать эффекты термомеханической обработки, которые формируют специфичную мелкозернистую структуру стали, обеспечивающую ей высокий комплекс механических свойств. Таким образом, методом горячей штамповки или допрессовки пористых заготовок можно получать конструкционные детали из порошковой стали, не уступающие по

своим свойствам выплавленным.

В настоящее время основная масса изделий из порошковой стали готовится на основе железных порошков и сажистого углерода. Так же как и булаты, они являются, как заметил П. П. Аносов, сплавом «железа и углерода и ничего более». Применение легированных стальных порошков обеспечивает более высокое качество как спеченных, так и горячештампованных изделий.

Так, например, в Институте проблем материаловедения АН УССР недавно разработана технология получения изделий из высокохромистой порошковой стали, которая очень напоминает один из способов получения булата. Смеси порошков железа, белого чугуна и хромистой стали, содержащей 30% хрома, формируются двукратным прессованием и спекаются в печи с защитной атмосферой. Сравнительно невысокая температура и кратковременность спекания исключает выравнивание концентрации углеродов и хрома по всему объему металла, формируя этим самым неравновесную структуру типа булата. Эксплуатационные испытания в течение 9000 часов показали, что детали масляного насоса из порошковой хромистой стали с неравновесной структурой (микробулат) при работе в паре с закаленной быстрорежущей сталью обладают в 2—3 раза более высокой износоустойчивостью, чем эти же детали из обычной «равновесной» шарикоподшипниковой стали.

Так мудрость древних, дошедшая до нас с редкими образцами булата, сегодня воплощена в порошковых сталях, в слоистых и композиционных материалах. Материалы эти не только повторяют, но и развивают дальше идеи булата. Так же, как когда-то булат, они обладают необыкновенными свойствами, по сравнению с обычными сталями и сплавами, сочетая такие качества, как пластичность и прочность, твердость и вязкость, долговечность и огнеупорность, износостойкость и жаропрочность. Поэтому наши старые знакомые—композиционные материалы и порошковые стали по праву являются прямыми наследниками булата. Кислотоупорные и жаропрочные булаты, огнеупорные булаты, твердосплавные булаты — самые лучшие современные материалы.

В 1979 году Златоустовский завод им. Ленина отпраздновал свое 225-летие. В честь этого знаменательного события была выпущена памятная медаль. На одной стороне медали изображен памятник Павлу Петровичу Аносову, а на другой—герб завода и города. Медаль штампованная, сделанная из медного порошка. Так порошковая металлургия пришла на родину русского булата!

СЛОВАРЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

Бессемеровский процесс — передел жидкого чугуна в сталь без подвода теплоты путем продувки металла воздухом.

Вязкость—свойство металла (сплава) вытяги-ваться перед разрушением при приложении нагрузки.

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

Дислокация — линейное несовершенство строения кристаллической решетки, которое в двух измерениях имеет размеры порядка атомных, а в третьем— больший размер.

Диффузия — тепловое перемещение атомов (ионов) или молекул вещества в направлении выравнивания его концентрации.

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

Железные о б сечки—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.

Кислородно-конвертерный процесс — пе-редел жидкого чугуна в сталь без подвода теплоты, путем продувки металла технически чистым кислородом.

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

Конверторное 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).

Ликвация — неоднородность химического состава по объему слитка, отливки или детали. Возникает при кристаллизации (затвердевании) сплава.

Макроструктура — строение металлов и сплавов, видимое невооруженным глазом или при небольших увеличениях (менее 30 раз).

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

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

Мартенсит — пересыщенный твердый раствор углерода в альфа-железе. Игольчатая структура закаленной стали, обеспечивающая ее высокую твердость, износостойкость и прочность.

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

Микроструктура—строение металлов и сплавов, изучаемое при больших увеличениях (более 30 раз).

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.

Перлит—механическая смесь феррита и цементита. Структурная составляющая сплава железо—углерод.

Руда—горная порода, содержащая металл.

Сварочное железо — ковкое железо, полученное соединением тестообразных криц или прокованных полос из них, которое не упрочняется закалкой.

Скрап — металлические отходы, поступающие в переплавку для изготовления годного металла.

Скрап-процесс — получение стали путем переплава чугуна, скрапа и руды.

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

Сыродутный процесс — древний способ получения железа в виде крицы путем непосредственного восстановления руды в горне при 800°—1350°С. Вытеснен в XIV веке 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.

Ударная вязкость — свойство металла (сплава) сопротивляться разрушению при ударном приложении нагрузки.

Фаза — форма состояния вещества, характеризуемая одинаковыми свойствами в макрообъеме.

Феррит — твердый раствор углерода в альфа-железе. Структурная

составляющая сплава железо—угле» род.

флюс — вещество, добавляемое к руде или металлической шихте для снижения температуры плавления и образования шлакоз.

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% углерода 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 каменистая застывшая масса.

Электросталь—сталь, полученная рафинированием с помощью электрического тока.

ЛИТЕРАТУРА

- Аносов П. П. Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1954.
- Антеин А. К. Дамасская сталь в странах бассейна Балтийского моря. — Рига: Зинатне, 1973.
- Пешкин И. П. П. Аносов. — М.: Молодая гвардия, 1954.
- Богачев Н. И. Секрет булата. — М.: Машгиз, 1957.
- Гуревич Ю. Г. Тайна крылатого коня. — Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1980.
- Рудой Б. Композиты. — М.: Московский рабочий, 1976.
- Чолошвили К. К. Из истории грузинского булата. — Тбилиси: Мецниероба, 1964.