

В. Р. НАЗАРЕНКО, канд. техн. наук, Киев

БУЛАТ И СТАЛЬ БУЛАТНОГО ТИПА - ПЕРВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

В статье описан раскрывший свои тайны материал – булатная сталь, первый материал, подвергавшийся неразрушающему контролю качества. Показано, что булатная сталь, выплавленная по технологии автора, имеет высокие механические и прочностные свойства и не уступает легированным сталям. Приведены данные, характеризующие промышленные плавки булата, описаны его основные свойства.

Ключевые слова: булатная сталь, легированная сталь, узорчатая поверхность, износостойкость, температураковки.

Посвящаю коллегам по ХПИ и 60-летию окончания этого ВУЗа

Среди многочисленных памятников материальной культуры особый интерес представляют изделия, изготовленные из булатной стали, которые в свое время были наиболее качественной продукцией древней металлургии.

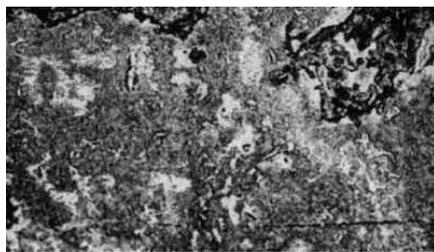
Ни об одном производстве в истории человечества не было сложено столько мифов, легенд, баллад, поверий, сказаний и преданий, как о производстве булатных клинков. Каких только мифов не было придумано. Это и передача по наследству в узком кругу знаний по изготовлению и обработке металла. Это и способ закалки раскаленного клинка в печени специально подготовленного раба (что впоследствии привело к азотированию стали). Это и скачки на лошади с интенсивным вращением еще горячего клинка. Это и отковка клинка в лунную ночь. Это и закалка в кузне исключительно ночью с зашторенными окнами. И легендам этим нет счета...

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 под их собственным весом.

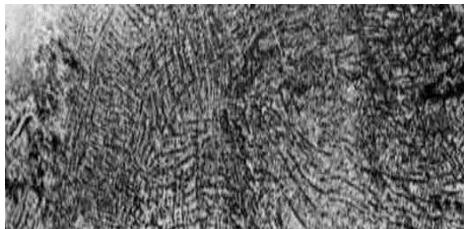
Булатная сталь отличалась красивой отделкой поверхности: на темном фоне видны более светлые волнистые линии. Считалось, чем более волнистый и густой узор имеет сталь, и чем темнее фон, на котором этот узор выступает, тем выше качество металла. Рисунок никогда не повторялся, узор на поверхности металла как будто образован сплетением волокон стали с разным содержанием углерода (рис. 1). Так описывал булат выдающийся исследователь и историк А.К. Антейн [1, с. 7].



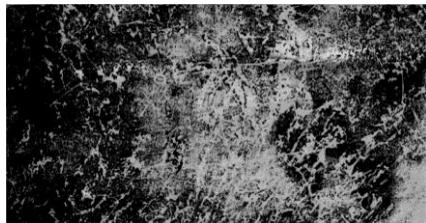
a



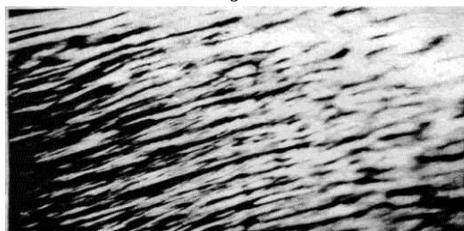
б



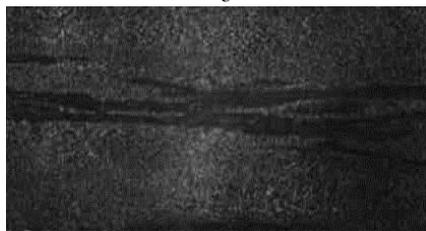
в



г



д



е



ж



з

Рис. 1 – Макроструктура и узорчатость булатной стали:

a – булат с волнистым узором 1,23 % С, поковка, 10^x; *б* – булат с цветочным узором 1,91 % С, поковка, 10^x; *в* – булат с колечкатым узором 3,1 % С, поковка, 4^x; *г* – булат с сетчатым узором 2,07 % С, поковка, 10^x; *д* – булат с полосатым узором 1,07 % С, поковка, 4^x; *е* – булат с полосатым узором 2,27 % С, прокат 1 : 1; *ж* – булат с волнистым узором 1,58 % С, поковка, 4^x; *з* – булат со струйчатым узором 1,88 % С, поковка 1 : 1

С булатом связано понятие высококачественной стали, для которой послековки и трения характерна своеобразная макроструктура - узор и высокая

режущая способность, являющаяся главной отличительной особенностью булатного оружия. Сегодня различают 2 типа булата: *настоящий*, или *литой*, полученный ковкой из специальных слитков (вуц), природа которых полностью еще не выяснена. Слитки имели очень высокое содержание углерода (более 1,3 %) и подпадают под категорию – высокоуглеродистые стали. И булат *сварочный* - полученный соединением кузнечной сваркой (древней разновидности сварки давлением) материалов с разной твердостью. Наиболее древний булатный металл производился в Индии, секрет его изготовления тщательно оберегали, мастера передавали его из поколения в поколение, пока он, наконец, не был утрачен. А из индийских заготовок – вуцов ковались булатные клинки во всем мире.

Европейцы узнали о булатной стали после похода Александра Македонского в Индию. Холодное оружие из этой стали имело исключительно высокие механические свойства: прочность, пластичность, упругость, твердость и остроту лезвия, которое сохранялось при длительном его использовании, а еще имел характерный узор на поверхности изделия, который определял ценность оружия. Чем сложнее и красивее был узор, тем дороже ценилось изделие. Сегодня вновь появился интерес к булатным клинкам. Красивая поверхность клинка украшает многочисленные гостиные, а кухонный нож, не требующий заточки десятков лет, является лучшим подарком любому шеф-повару. Зайдя в Интернет, можно обнаружить десяток рекламных объявлений, что настоящий булат делаю только я (или кузнецы нашей фирмы), а остальные – не умеют. Но, увы, это в основном, поделки под булат, носят рекламный характер, или, в лучшем случае, так называемое, дамаскирование.

Несмотря на то, что современные легированные стали по вязкости, упругости и другим показателям превосходят булатную сталь, интерес к ней, как являющейся первым композиционным материалом со своеобразной макро- и микроструктурой, сохранился и сегодня. Об этом свидетельствуют многочисленные труды, опубликованные во многих странах мира. Европейцы, начиная с XVIII столетия, интенсивно занимаются разгадкой булатной стали. Большого успеха в этом вопросе достиг российский металлург П.П. Аносов. Существует немало сведений о достижениях других исследователей, но состава и технологии изготовления булатной стали, которые могли быть использованы в массовом масштабе, нет.

Автор еще в далеком 1965 году начал работы по булатной стали и с тех пор не изменял этому интереснейшему направлению в металлургии. Начало исследованиям было положено на Харьковском турбинном заводе. Продолжение работ было выполнено на киевских предприятиях: институте УкрМестПром, КПО имени Артема. А окончательное решение проблемы было найдено автором в Институте проблем материаловедения НАН Украины. В этом институте автором были разработаны технологические процессы получения стали в лабораторных и промышленных условиях, а также определен химический состав булатной стали. Подробное описание технологического процесса описано в работе [2]. Автор выполнял исследования вначале на уровне хобби, не имея

финансирования работы, без включения темы в план отдела и тем более института.

Как известно, характерной особенностью булатной стали является внешний вид (узорчатая поверхность), которому придавалось особое значение и который считался обязательным компонентом материала, относящимся к булатным сортам стали. Хотя строгой классификации нет, да и название сортов условно, специалисты отличают три группы стали в соответствии с узором, цветом и звоном.

Именно благодаря клинковому производству, которое еще в докапиталистических формациях являлось одной из наиболее сложных отраслей металлообработки, и были созданы предпосылки исследования качества металла, в первую очередь - внешний осмотр для выявления рисунка. В то время это была наиболее ответственная отрасль производства – для оружия, которое тогда было исключительно холодным, использовали наиболее передовые методы металлообработки и применяли наиболее качественный металл. Другим методом проверки качества была проверка на гибкость и остроту лезвия. Именно с тех далеких пор и получили развитие методы контроля металла - визуальные и контроль механических, а затем и физико-механических свойств. Естественно, при высокой цене на клинок все эти методы были, как сегодня бы сказали мы, методы неразрушающего контроля.

К нижним сортам (нерис, баяз, шам) относятся булаты с мелким, полосатым и лучистым узором, с серым или бурым грунтом. Узор всегда светлее фона, или, как говорят, грунта. К средним сортам относят: хинды - со средним и крупным волнистым узором, бурым или чёрным грунтом. К высшим сортам: хоросан, табан - с крупным сетчатым или коленчатым узором и тёмным с золотистым отливом грунтом. Лучший из лучших - кара-табан, что в переводе с персидского - черный, блистательный.

Автору удалось получить этот сорт булата, приведенный на рис. 2. Для сравнения полученного узора высшего сорта булатной стали с узором работы старых мастеров приведем изображение сабли древних мастеров и узор на ней. Сравнивая узоры, нельзя найти существенные отличия в сортности и качестве булата.

Но наивысшим достижением старых мастеров было получение узора с золотистым отливом, а также булата «Маджли». Относительно булата «Маджли», о котором впервые сообщил хорезмийский путешественник и исследователь Аль-Бируни, опубликовавший свой трактат «Минералогия» в 1048 году, в котором он писал, что, если узор клинка отображал силуэты растений, животных, то такое изделие ценилось очень дорого; за одно изделие давали слона, но если узор представлял силуэт человека, то за одно изделие давали двух слонов [3].

Достижение автора в получении золотистого отлива заключается в том, что автор определил на многих опытах, что золотистый отлив получается в булатной стали с содержанием углерода 2,2 - 3,2 %, что отвечает 33 - 48 % це-

ментита и объясняется высокой контрастностью структурных составляющих - перлита и цементитной эвтектики, рис. 3.

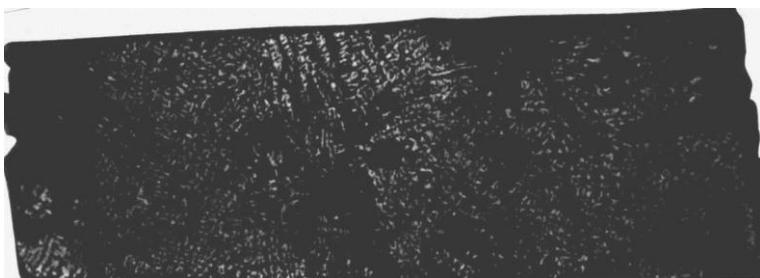
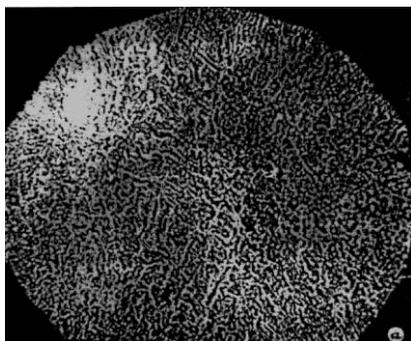


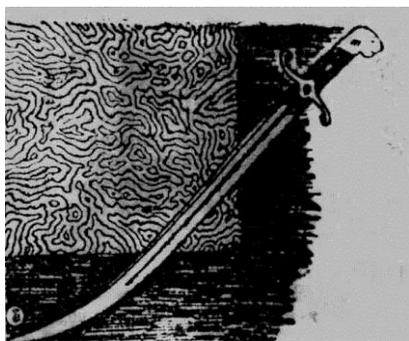
Рис. 2 - Булатная сталь с содержанием углерода 2,2 - 3,2 %

Необходимо отметить, что золотистый отлив возможно получить лишь при использовании определенного травителя. Автор получил золотистый отлив, применяя серную кислоту.

Но отковать клинок – поддела. Вначале надо было выплавить булат. После долгих проб и ошибок, тщательного перечитывания литературы, автор приступил к полупромышленным испытаниям.



a



б

Рис. 3 – Рисунок коленчатого булата: *a* – булат, изготовленный автором; *б* – сабля и рисунок булата, изготовленного древними мастерами

В лабораторных условиях сталь выплавляли в печах сопротивления, Таммана, индукционных. В качестве шихты использовали карбонильное железо, губчатое железо, армко-железо. Клинки из булата сегодня армией не востребованы и было решено использовать булат, как конструкционный материал. Оказалось, что булатная сталь по многим параметрам не уступает сталям легированным.

Так, например, из булатной стали были изготовлены ножи фрезерного культиватора, вращающие фрезу со скоростью 500 оборотов в минуту. Ножи

из булатной стали использовались дольше в 3 - 3,5 раза, чем ножи из стали 65Г с наплавкой режущей части ножа сормайт, имеющим 30 - 35 % легирующих элементов.

Затем было выполнено испытание булатной стали - лезвий для резки пленки из полиэтиленрафалата толщиной 3 мкм на заводе «Дорхиммаш» Объединения «Пластик», г. Москва, где лезвия из булатной стали с содержанием углерода 1,15% в 12 раз (!) превысили износостойкость стали 65Х13, которая серийно используется при изготовлении лезвий для резки плёнки. Получив такие результаты, было решено изготовить булатную сталь в промышленных условиях, а именно на заводе «Большевик» г. Киева, где булатную сталь выплавляли в однотонной индукционной печи в условиях восстановительной углеродной атмосферы. В качестве шихты использовали древесный уголь и окаыши Броварского завода порошковой металлургии Киевской области.

На заводе «Большевик» было выполнено 7 плавов. Слитки массой 0,5 тонны с прибылью перерабатывали на 3-х тонном кузнечном молоте на заготовки-поковки, которые заказали заводы города Киева. Получив откованные заготовки, заводы изготовили оснастку, инструмент и детали машин и испытали их непосредственно в полевых и промышленных условиях.

Данные по испытанию булатной стали на износостойкость по сравнению с легированными сталями доказали, что износостойкость булатной стали выше, чем у легированных сталей в несколько раз и не уступает вольфрамовым сталям, если температура нагрева инструмента или детали не превышает 300°C.

Из булатной стали были изготовлены шарошки для взъерошивания кожи в местах склеивания. Шарошки из булатной стали не уступали шарошкам из стали Р18 или сплава ВК-15. Среднелегированные стали таких условий работы не выдерживали.

Нож гильотины проработал в 2,5...3 раза дольше ножа из стали ХВГ. Пуансон для высадки гвоздей проработал в 5(!) раз больше пуансона из стали Х12М.

В других деталях булат превосходил легированные стали на 5...20%. Но цена на булатную сталь ниже в 5 - 10 раз. Экономический эффект составлял от 500% до 1200 %!

Почему булатная сталь превышает по износостойкости легированные стали? Булатная сталь испытывалась на заводе «Медаппаратура» г. Киева при резке лавсановой плёнки, толщиной 200 мкм с покрытием свинцовой фольгой на эпоксидной смоле. При шлифовке ножей из булатной стали, шлифовальный камень и поверхность ножа покрывались тёмной пленкой. Автором было сделано предположение, что булатная сталь имеет свободный графит. Для исследования был применён способ микронзондового рентгеновского локального анализа по общепринятой методике узким пучком и в режиме сканирования на микроанализаторе типа MS-46 фирмы «Сатеса», выполненный в Институте

Проблем материаловедения исследователем Ю. Смирновым, что подтвердило правоту автора.

Разработанный состав и технология изготовления булатной стали содержит углерод в количестве 0,4 - 6,67 %. Известно, что деформации подвергается сталь с содержанием углерода до 2,0 %. Чугун деформации не подвергается, хотя в работе [4] Нижниковская П.Ф. описала возможность деформации железоуглеродистых сплавов заэвтектического типа.

При выполнении работ по выплавке и деформированию булата, автор, зная, что булатная сталь может содержать углерода до 5,0%, принял во внимание мнение профессора Л.Н. Ларикова [5] о том, что марганец и кремний значительно повышают предел текучести феррита и уменьшают его пластичность. Марганец образует стабильный карбид, изоморфный цементиту, и снижает его возможность к деформации. Кремний с кислородом образует монооксид кремния и способствует охрупчиванию. Поэтому разработанная булатная сталь имеет содержание марганца до 0,12 и кремния до 0,1 %. Автор принял во внимание и то, что только чистый от примесей и окислов металл возможно подвергать деформации с содержанием углерода больше 2,0 %. Поэтому для выплавки булатной стали использовались чистые шихтовые материалы: древесный уголь и окатыши - отходы производства железных порошков.

Кроме того, была разработана и осуществлена технология выплавки булатной стали в индукционной печи в восстановительной углеродной атмосфере, для чего тигель печи был накрытый специальной крышкой. Чтобы избежать повторного окисления металла в процессе разлива булатная сталь из тигля индукционной печи разливалась прямо в изложницу, минуя разливочный ковш. В связи с тем что шлак с металла не скачивался, то в процессе заполнения изложницы металлом сливался и шлак, который, обволакивая струю металла, предохранял металл от повторного окисления и насыщения металла водородом и азотом из атмосферы воздуха [1].

Деформирование двухфазных сплавов зависит от свойств матричной фазы, поэтому пластичность сплавов с эвтектиками первой группы а также сплавов, в которых образуется сплошная оболочка вокруг зёрен твёрдого раствора, приближается к пластичности карбидной фазы - цементиту. Отсюда следует, что, как сплав с матричной фазой – карбид, так и с армированием металлической основы карбидом деформируются плохо.

Тем не менее, автором было проведено исследование по деформированию булатной стали до и после термической обработки бойками кузнечных молотов, которые имели твердость 120...240 НВ. Было доказано, что таким инструментом можно обрабатывать булатную сталь с содержанием углерода 5,0...6,0% углерода.

По мнению автора, деформирование (поковка) булатной стали с большим количеством углерода возможна потому, что сила энергии удара бойком молота с малой твёрдостью распределяется в соответствии с твёрдостью: молот с малой твёрдостью бойка принимает на себя некоторую часть этой энергии на

себя, в то время, как молот с большой твердостью бойка передает энергию удара на образцы. За разработку этого способа автор получил патент Украины, который стал одним из 7 патентов, полученных автором по данному вопросу.

Таким образом, придерживаясь высказанных выше четырех принципов деформирования булатной стали с большим количеством углерода, возможно достичь того, что булатная сталь с содержанием углерода более 2,0 % *обрабатывалась давлением* – проковывалась и прокатывалась.

На рис.4 представленная микроструктура булатной стали с содержанием углерода 3,38 % в поперечном и продольном сечениях после поковки. На рис. 5 представлена микроструктура булатной стали с содержанием углерода 6,0 % в литом состоянии.

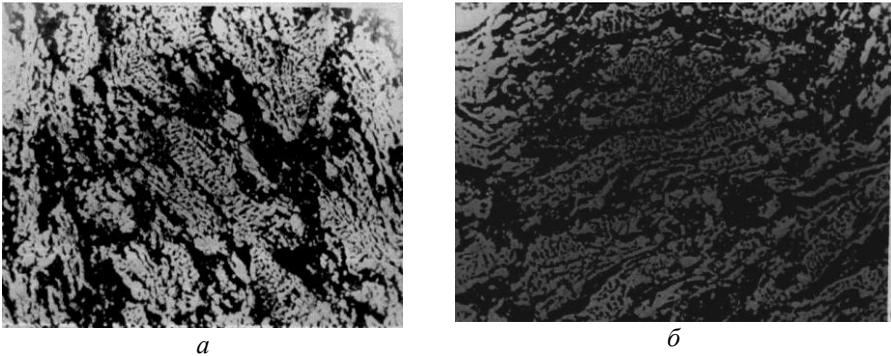


Рис. 4 – Микроструктура ковanej булатной стали. Содержание углерода 3,38%:
a - поперечное, *б* – продольное сечение. 250^x

Получив положительные результаты по изготовлению и исследованию булатной стали на машиностроительном заводе, было принято решение воспроизвести полученные результаты на металлургическом заводе. Такая возможность представилась на заводе «Днепрспецсталь» города Запорожье, где плавку произвели в электродуговой сталеплавильной печи. В качестве шихты использовали металл, выплавленный конвертерным способом на Криворожском металлургическом комбинате. Такой металл отличается малым количеством в нем примесей, в том числе, марганца и кремния.

Слитки перерабатывались на обычном кузнечно-прокатном оборудовании. Однако, если металлурги завода старались придерживаться разработанной технологии выплавки стали и деформирования слитков, то режимы обработки давлением существенно отличались от условий обработки на заводе «Большевик».

Температура деформирования осуществлялась в пределах 850...1200 °С, против 650...850 °С на заводе «Большевик». После прокатки слитка на круг и квадрат, отправленные машиностроительным заводам для изготовления инструмента, оснастки и деталей машин, параллельно была исследована булатная сталь.

И оказалось, что, несмотря на высокие механические свойства у выплавленной стали, на ней отсутствует узор – отличительное свойство булата. По всем остальным параметрам она соответствовала булату с узором.



Рис. 5 – Микроструктура булатной стали. Содержание углерода 6,0%. 250^x

Поэтому для обеспечения узора на изделии необходимо строго выдерживать температурный интервал обработки или обрабатывать изделие кислотой или производить химико – термическую обработку. Автору удалось решить и эту проблему: им было получено изделие из булатной стали, сорта «Маджли». Но методика в современной трактовке не может получить одобрение потому, что применилась технология с цементацией изделия, а это сказывается на качестве стали: происходит рост зерна и ухудшение механических свойств.

Новая сталь получила маркировку У12Б – углеродистая сталь с содержанием углерода 1,2%, булатного типа.

Что касается износостойкости стали булатного типа, то испытание изделий, инструмента, оснастки на машиностроительных и химических заводах, а также в сельском хозяйстве показало, что сталь булатного типа ничем от булатной стали по износостойкости не отличается.

Выводы: булатная сталь - сплав железа с 0,4 - 6,67 % углерода выплавленного в углеродно-восстановительной атмосфере без применения, как раскислителей кремния и марганца, количество которых не должно превышать 0,1 и 0,12 % соответственно. Булатную сталь необходимо деформировать при температуре 650 - 850^oC с многоразовым нагревом и поковкой (прокаткой) с малой энергией удара (давления), термически обрабатывать при температуре 750 - 860^oC по режиму нормализации или закалки в зависимости от использования изделия в статическом, кинематическом или динамическом режимах.

На поверхности изделия после шлифовки, полировки и травления различными травителями наблюдаются узоры, которые образуются фазами сплава: ферритом, перлитом и ледебуритом в зависимости от содержания углерода, который обеспечивает высокую износостойкость вследствие неразрушающей «мягкой» матрицы, дисперсности карбидов железа и наличия свободного углерода (графита), который служит как смазка поверхностей трения или скольжения.

Разработанная технология производства булатной стали позволила впервые в мире осуществить заметную мечту П.П.Аносова: использовать булатную сталь в промышленности и в сельском хозяйстве для изготовления инструмента, оснастки и деталей машин взамен легированных сталей. Булатная сталь по износостойкости не уступает легированным сталям, а в ряде случаев и превосходит их при существенно меньшей себестоимости ее изготовления. Практически доказано, что булатная сталь может использоваться в химической, машиностроительной и других отраслях промышленности, доказав справедливость предсказания П.П. Аносова, что булатная сталь «вытеснит из употребления всякого рода сталь, употребляемую ныне на приготовление изделий, требующих особенной остроты и стойкости».

Таким образом, человечеству вернулся один из древнейших секретов получения качественной стали, раскрытый отечественными учеными.

Автор выражает глубокую благодарность сотруднику НТУ «ХПИ» канд. техн. наук Журило Д.Ю. за помощь в оформлении данной статьи.

Список литературы: 1. *Антейн А.К.* Дамасская сталь в странах бассейна Балтийского моря. Рига.: Зинатне, 1973. - 140 с. 2. *Назаренко В.Р.* Булатна сталь. Індія, Росія, Україна. Київ – Черкаси.: Інлес, 2013. – 437 с. 3. *Аль - Бируни.* Минералогия. М.: АН СССР, 1963. – 526 с. 4. *Нижегородская П.Ф.* Структура и пластичность железоуглеродистых сплавов заэвтектического типа. // МИТОМ, №9. 1984. С. 36-42. 5. *Ларионов Л.Н.* Булат: минуле і сучасне. // МОМ, № 2, 1995. С. 25-29.

Надійшла до редколегії 16.05.2013

УДК 621.74

Булат и сталь булатного типа - первый материал для контроля качества / В. Р. Назаренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – X. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 34 (1007). – С. 174–183. – Бібліогр.: 5 назв.

У статті описано матеріал, що розкрив свої таємниці - булатна сталь, перший матеріал, що піддавався неруйнівному контролю якості. Показано, що булатна сталь, виплавлена за технологією автора, має високі механічні та міцнісні властивості, та не уступає легованим сталям. Наведено дані, які характеризують промислові плавки булата, описано його основні властивості.

Ключові слова: булатна сталь, легована сталь, візерункова поверхня, зносостійкість, температура кування.

In article is described revealed their own secrets material - bulat steel, the first material, been subjected to not destroying checking quality. It Is shown that bulat steel, melting on technologies of the author, has high mechanical characteristic and does not yield alloy steel. The broughted data, characterizing industrial swimming trunks bulat, is described its main characteristic.

Keywords: bulat steel, alloy steel, pattern surface, wear capability, the temperature of the forging.