

Н. М. ЗИНЯКОВ, Т. В. САВЕЛЬЕВА

БУЛАТНАЯ СТАЛЬ СРЕДНЕВЕКОВОГО ТАЛЬХИРА. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТИГЕЛЬНОЙ УЗОРЧАТОЙ СТАЛИ

Средневековый город Тальхир – центр экономической и политической жизни региона Семиречья-Жетысу в IX–XIII вв. Ремесленное производство, местная и транзитная торговля стали основным занятием городского населения. Торгово-ремесленный характер семиреченских городов нашел свое отражение в археологических материалах и письменных исторических источниках.

В Географическом трактате «Худуд ал-Алем» («Границы мира»), который сочинил в 982 году персидский географ, среди населенных пунктов Семиречья было названо селение Тальхиз (Тальхир). Поселение описывается как крупный торговый город на Шелковом пути. Впечатляет город своими размерами – около 30 гектаров, а также благоустройством: в городе был водопровод, канализация, бани, ремесленные кварталы, улицы вымощены булыжником. Он располагался среди гор на границе между тюркскими племенами чигилей и карлуков. «Жители его, – по характеристике средневекового географа, – воинственные, смелые и доблестные». Вместе с карлуками в городе проживали потомки усуней, тюрки-чигили, а также выходцы из Согда (район Бухары и Самарканда), которые издавна славились как предприимчивые купцы и искусные ремесленники.

Развитие ремесел и подъем экономики города способствовали усилению торговой роли Тальхира. Город обслуживал всю округу как земледельческую, так и кочевую. В результате международной торговли по Великому Шелковому пути в город попадали предметы роскоши, а также высокохудожественные изделия из дальних стран. В настоящее время от древнего города сохранилась только укрепленная крепостными стенами часть города площадью 9 га – некогда бывшая ставка владельца.

Городище находится на южной окраине современного города Талгара, что в 25 км к юго-востоку от Алматы.

Вблизи ставок селились ремесленники, которые изготавливали глиняную посуду и оружие,

украшения и ткани для двора феодала, его семьи и дружины. Из соседних поселков сюда везли зерно и фрукты, овощи и зелень к столу, вино и сладости. Постепенно стали приезжать и купцы из соседних областей и дальних стран. Вслед за ними потянулись монахи и священники, проповедовавшие веру в Христа и Будду, Зороастра и Мухаммеда.

Со временем у стен еще недавно небольшой ставки, где за глиняными стенами стояла юрта степного властелина, хранились его казна и арсенал, стал складываться пригород – лепились друг к другу мастерские ремесленников и лавки купцов, а вдали от них стояли храмы и монастыри, располагались кладбища с различными погребальными постройками. И для того, чтобы чувствовать себя в безопасности, жители возводили оборонительные стены. Так возникал город.

К концу X в. это уже крупный административный, политический, торговый и культурный центр на Великом Шелковом пути.

Города X – начала XIII в. являются уже не только резиденциями, как раньше, а центрами ремесла и торговли. Особенно возрастает роль торговли в развитии городов. Это было предопределено тем, что в это время одно из ответвлений международного Шелкового пути прошло через Илийскую долину, и вело оно в Центральный Казахстан. Дорога шла по правому берегу Или к ее низовьям, пересекая тогда еще заполненные водой протоки к Балхашу. В наиболее узком месте Балхаш караваны переходили вброд и, следуя долиной Токрау, далее двигались в глубь Дашт-и-Кыпчака, к кочевьям степняков и поселкам медеплавильщиков.

За годы исследований города Тальхира была собрана уникальная коллекция изделий из железа. Прежде всего, все находки атрибутированы культурными слоями, коллекция происходит из одного источника – городища Тальхир. Она уникальна своей великолепной сохранностью, позволяющей проводить самые разнообразные анализы состава железа. По изделиям в коллекции

можно проследить все стадии металлообработки от сырой крицы до готового изделия: сырье, полуфабрикаты, кузнечный инструмент, орудия труда, оружие, элементы конской сбруи, предметы домашнего обихода и т.п., номенклатура изделий насчитывает более 70 наименований.

В ходе проведенных микроструктурных исследований изделий из черного металла выявлены два инструмента разного назначения – шарнирные ножницы и кузнечное зубило, изготовленные из узорчатого булата – гиперуглеродистой тигельной стали ледебуритного класса (в современной классификации).

Истории исследования изучения булатной стали и реконструкции производства тигельной узорчатой стали посвящена предлагаемая статья.

Овечья легенда булатная сталь, долгое время считавшаяся вершиной металлургической техники, в период средневековья производилась исключительно мастерами Востока. Из нее делали самые лучшие сабельные клинки, с редкими образцами и достоинством которых имели возможность ознакомиться и народы Европы.

Получение булатной стали, в отличие от кричного железа было основано на расплавлении металла в огнеупорных тиглях. Использование данной технологии являлось великим достижением металлургов Востока, на много веков опередивших своих европейских коллег. Как известно, в Западной Европе тигельное производство стали начали внедрять только с 40-х годов XVIII в.

Первые попытки изучения булатной стали были предприняты в Европе в начале XIX в. в связи с потребностью новых видов инструментальных материалов для развивающейся промышленности. Один из первых опытов с индийским булатом «вутцем» (wootz) провел английский физик М. Фарадей. Вслед за ним последовала серия опытов директора Парижского монетного двора Г. Бреана. К булату обращались известные металлурги Европы: шведский – Ринман, немецкий – К. Карстен, английский – Г. Вилькинсон, французский – Г. Турай. В результате изысканий исследователи пришли к противоре-

чивым выводам о химическом составе, качестве и причинах образования узоров булатной стали. Осталась нерешенной и главная задача – создание собственной литой стали, по качествам и физическим свойствам идентичной восточному булату¹. Подтверждением тому служат слова Г. Турая, которыми он подвел итог западноевропейским изысканиям по булату: «Фабрикация булатных клинков является секретом, окруженным непроницаемым покровом тайны восточных мастеров. Европейцы тщетно старались в течение долгого времени открыть этот секрет»².

В 1828 г. к исследованию булата и металлургическим опытам обратился русский инженер П. П. Аносов. Опираясь на публикации западноевропейских предшественников, он приступил к изучению и испытанию образцов древних булатов, хранившихся в частных коллекциях и Царскосельском арсенале. Оценив превосходные достоинства стали, П. П. Аносов принял решение «опытами доискаться тайны приготовления булатов»³. Должность директора Златоустовской оружейной фабрики дала ему возможность использовать техническую базу и лучших оружейных мастеров Урала при проведении своих экспериментов. Десять лет непрерывных поисков завершились открытием способа приготовления булата. Результаты работ были опубликованы в «Горном журнале» в 1841 году под названием «О булатах». П. П. Аносов не только подробно описал ход опытных плавок металла, но и высказал ряд интересных наблюдений и выводов. Важнейшим из них являлось заключение о том, что «булат есть не смесь стали с каким-либо металлом, но смешение железа с углеродом, подобное стали», и что «причину образования крупных узоров надлежит ближе всего искать в способе соединения железа с углеродом»⁴. Сравнение им различных булатов показало, что чем крупнее узоры, «тем тверже булат и, следовательно, тем более он заключает в себе углерода»⁵.

Металлургия первой половины XIX века была более ремеслом, чем наукой. Поэтому техноло-

¹ Гуревич Ю.Г. Загадка булатного узора. М., 1985. С. 67-68.

² Гуревич Ю.Г. Загадка булатного узора. М., 1985. С. 69.

³ Аносов П.П. О булатах // Собрание сочинений. М., 1954. С. 121.

⁴ Там же. С. 129.

⁵ Там же. С. 135.

гия получения и обработки булатной стали не получила научного объяснения. Значительная часть высказанных П. П. Аносовым положений, находившихся на уровне эмпирических знаний, не стала достоянием металлургов.

В XX в. представители русской школы металлостроения при изучении металлургических процессов неоднократно обращались к проблеме булата. В 1906 г. ученый-металлург Д. К. Чернов изложил так называемую «дендритную теорию булатной стали»⁶. Впоследствии дендритная теория стала особенно популярной благодаря исследованиям Н. И. Беляева относительно кристаллизации стали, опубликованном в его сочинении «О булатах»⁷. Однако, несмотря на принятую теоретическое обоснование природы булатной стали, восстановить технологию получения булата Н. И. Беляеву не удалось.

В 1919 г. металлостроитель А. П. Виноградов в диссертации «Мягкий булат и происхождение булатного узора» изложил свою теорию природы узорчатой тигельной стали, обосновав возможность получения слитков высокой степени физической неоднородности за счет сохранения частиц ненауглеродистого железа в основной массе высокоуглеродистого сплава. Фактически данная теория обосновывала способ получения так называемого «булата с ферритными прослойками». Как показали последующие исследования, данная сталь, кроме узора, не имела ничего общего с истинным булатом.

В 50-е годы XX в. активизировались исследования, посвященные теоретическому обоснованию технологии производства легированных сталей. Это вызвало новый интерес к булату. В разработке проблемы наибольшую известность получили работы творческой группы

Златоустовского металлургического завода во главе с И. Н. Голиковым – начальником центральной лаборатории предприятия. Творческая группа, взявшая на вооружение идеи, предложенные А. П. Виноградовым, обосновала теорию булата и булатного производства. В теории И. Н. Голикова вновь утверждалось, что «причиной булатного узора и специфических свойств булатной стали является сохранение при выплавке стали в объеме жидкого металла взвешенных, недорасплавленных частиц с меньшим содержанием углерода»⁸.

В зарубежных исследованиях XX века проблема булата периодически появлялась на страницах печати. В 1924 г. Б. Зшокке опубликовал четыре образца булатных сабель из Бернского исторического музея с выраженными узорами, ставших эталонными образцами на весь последующий период до настоящего времени⁹.

В 60–80-е годы отдельные проблемы тигельной булатной стали поднимались в сочинениях С. S. Smith¹⁰, С. Panseri¹¹; J. Piaskowski¹², R. E. Tylecote¹³, J. Wadsworth и O. D. Sherby¹⁴.

Рост числа научных исследований по вопросам тигельной узорчатой стали и дискуссионность отдельных вопросов технологии получения и обработки булата вызвали необходимость проведения международного симпозиума по дамасской стали, который состоялся в 1985 г. в Нью-Йорке. Ученые всего мира получили возможность всесторонне обсудить проблему и дать оценку основным достижениям и концепциям в данной отрасли знаний.

В последующие годы исследования состава и процесса производства булатной стали были продолжены. Главным мотивом научных изысканий являлась историческая, археологическая

⁶ Чернов Д.К. Сталелитейное дело. СПб., 1906.

⁷ Беляев Н.И. О булатах // Журнал Русского металлургического общества. 1911.

⁸ Голиков И.Н. Дендритная ликвация в стали. М., 1958. С. 25.

⁹ Zschokke B. Du Damasse et des Lames de Damas // Revue Metall. 1924. V. 21. P. 635-669.

¹⁰ Smith C.S. A History Metallography. Chicago: University of Chicago Press, 1960; Smith C.S. Damascus steel // Science. 1983. V. 216. P. 242-243.

¹¹ Panseri C. Damascus steel in legend and reality // Gladius. 1965. V. IV. P. 5-66.

¹² Piaskowski J. Metallographic examination of two damascene steel blades // Journal Historical Arabic Science. 1978. V. 2. P. 3-30.

¹³ Tylecote R. F. Iron smelting preindustrial communities // Journal Iron Steel Inst. 1965. V. 203. P. 340-363; Tylecote R.F., Austin J.N., Wraith A.E. The mechanism of the bloom process in shaft furnaces // Journal Iron Steel Inst. 1971. V. 209. P. 342-363; Tylecote R.F. A History Metallurgy. London: The Metals Society, 1976. P. 47-48.

¹⁴ Wadsworth J., Sherby O.D. On the Bulat Damascus steel revisited // Progress in Materials Science. 1980. V. 25. P. 35-68; Wadsworth J., Sherby O.D. Damascus steel making // Science. 1982. V. 218. P. 328-330.

и научно-техническая ценность результатов. В числе наиболее заметных публикаций этого времени следует отметить труды коллектива авторов из США: J. D. Verhoeven¹⁵; J. D. Verhoeven, H. F. Clark, W. M. Yater¹⁶. Исследователями изучен химический состав и микроструктуры нескольких подлинных образцов дамасской стали, используемых в качестве эталона, и проведен ряд экспериментов по производству дамасских клинков. Большое внимание было уделено исследованию влияния элементов примесей, обнаруженных в сталях, на происхождение цементитных частиц, образующих характерный узор булата.

Известны также публикации J. Wadsworth и O. D. Sherby¹⁷, предложивших и отстаивающих свою теорию происхождения булатного узора, получившую название «Wadsworth-Sherby mechanism».

Целая серия работ посвящена изложению результатов экспериментов по воспроизведению дамасских стальных клинков. В ходе экспериментов исследователям удалось разработать методику по воспроизведению микроструктуры и поверхностного рисунка дамасских клинков¹⁸, выяснить механизм образования карбидов в процессе плавки и формирования их в строчечную структуру¹⁹, выявить точные температурные режимы обработки металла²⁰ и сформировать основные признаки, присущие дамасской стали²¹.

Анализ имеющихся публикаций показывает, что в решении проблемы булата были достигнуты существенные результаты, в частности: сформулированы общие характеристики тигельной дамасской стали; определены химический состав и микроструктура некоторых ее видов; предложены теоретические разработки механизма образования узоров в сплаве; опубликованы экспериментальные данные получения узорчатой

стали; выявлен температурный режим обработки металла.

Вместе с тем, в данной области металлургии остается ряд слабоизученных аспектов. В том числе: недостаточно исследованы технология тигельного производства стали и механизм формирования узорчатой структуры в слитке; требует прояснения вопрос влияния металлургической технологии на формирование разнообразных структур металла, отраженных в узорах булатной стали. Необходимо обратить особое внимание на изучение методики изготовления булата в период древности и средневековья, мастерам которого, при отсутствии сложных технических приспособлений и приборов контроля, был уже подвластен булат; наконец, необходимо создание единой классификации булатов древности и средневековья.

В углублении познания древнего производства булата особую роль играют археологические объекты с точно определенной хронологией и набором артефактов. В числе таких объектов особое место занимает средневековое городище Тальхир, которое имеет надежную датировку, из раскопок получены богатейшие, во многом уникальные коллекции изделий из черного металла. В коллекции – сырье, полуфабрикаты, кузнечный инструмент, орудия труда, оружие, элементы конской сбруи, предметы домашнего обихода и т.п., что позволяет проводить металлографические исследования обширной коллекции кузнечных поковок и чугунного литья.

В ходе проведенных микроструктурных исследований изделий из черного металла выявлены два инструмента разного назначения – шарнирные ножницы и кузнечное зубило, изготовленные из узорчатого булата – гиперуглеродистой тигельной стали ледебуритного класса (в современной

¹⁵ Verhoeven J.D. Damascus steel, Part I: Indian Wootz Steel // *Metallography*. 1987. V. 20. P. 145-151.

¹⁶ Verhoeven J.D., Baker H.H., Peterson D.T., Clark F.H. and Yater W.M. Damascus steel. P. III: The Wadsworth-Sherby mechanism // *Materials characterization*. 1990. V. 24. P. 205-227.

¹⁷ Wadsworth J., Sherby O.D. Comments on Damascus steel. P. III: "The Wadsworth-Sherby mechanism" by Verhoeven et al // *Materials characterization*. 1992. V. 28. P. 165-172.

¹⁸ Verhoeven J.D., Pendray A.H. Experiments to reproduce the pattern of Damascus steel blades // *Materials characterization*. 1992. V. 29. P. 195-211.

¹⁹ Verhoeven J.D., Pendray A.H. A reconstructed method for making Damascus steel blades // *Metals Materials*. Processes in press. 1993; Verhoeven J.D., Pendray A.H., Berge P.M. Studies of Damascus steel blades: Part II – Destruction and reformation of the pattern // *Materials characterization*. 1993. V. 30. P. 187-200.

²⁰ Verhoeven J.D. Analysis of Decarburization of Hypereutectoid Fe-C Alloys and its Application in Evaluating the Processing Steps Used to Make Damascus steel Swords // *Materials characterization*. 1990. V. 25. P. 221-239.

²¹ Verhoeven J.D., Peterson D.T. What is a Damascus steel? // *Materials characterization*. 1992. V. 29. P. 335-341.

классификации). Типологическая близость рассматриваемых предметов другим режущим и рубящим инструментам Тальхира, их находение в общем комплексе изделий из черного металла, а также имеющиеся данные о высоком уровне развития местной средневековой черной металлургии и металлообработки позволяют сделать заключение о местном производстве тигельной булатной стали. Изучение данных изделий позволяет выявить конкретные характеристики одного из видов средневекового булата и методу его изготовления.

Шарнирные ножницы по конструкции близки современным: две половинки, каждая из которых состоит из полотна лезвия и плавно изогнутой кольчатой рукояти, подвижно соединены штифтом. Общая длина ножниц – 23 см. Длина режущих полотен – 10,5 см. Макро- и микроструктурный анализ поперечного сечения рабочего лезвия показал, что ножницы откованы из гиперуглеродистой тигельной стали ледебуритного класса и закалены в холодной воде. Микроструктура металла имеет полосчатое строение и состоит из мартенситной основы, включений карбидов в виде зерен и отдельных игл, и отдельных зон ледебуритной эвтектики. Индивидуальные строчки, в виде параллельных линий, сформированы чередующимися частицами карбидов и ледебуритных включений. Строчки вытянуты по направлению от торцевой части к лезвию.

Для изучения рисунка на внешней поверхности одно из рабочих полотен было отполировано до зеркального блеска, протравлено химическим реактивом (4% азотной кислоты в спирте) и подвергнуто микроскопическому изучению. Благодаря тому, что разные структурные составляющие металла неодинаково реагируют на действие кислоты, травление четко проявило узорчатое строение стали, представляющее собой сочетание темной матрицы (мартенсит), светлых карбидных включений в виде сетчатых (игольчатых) ответвлений, крупных и мелких скоплений угловатой и округлой формы, и зон ледебуритной эвтектики. Расположение карбидных частиц и ледебуритных зон имеет древовидный и веерообразный характер.

Показатели микротвердости структурных составляющих оказались: мартенсит – 841–890 кг/мм², карбиды – 1144–1413 кг/мм², ледебурит – 1314 кг/мм².

С целью уточнения состава ледебуритной стали образец ножниц был подвергнут также химическому анализу (табл.).

Химический состав стали ледебуритного класса

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Ti	V	Mo	W
2,1	0,62	0,22	0,017	–	–	0,01	–	–	–	–

Результаты анализа показали, что перед нами железоуглеродистый сплав с чрезвычайно высоким содержанием углерода – 2,1%. В зарубежном металловедении подобные сплавы относят к гиперуглеродистым сталям. Химический анализ показал отсутствие основных карбидообразующих элементов: ванадия, вольфрама, молибдена, титана и наличие чрезвычайно низкой концентрации хрома – 0,01%. Марганец относится к числу непременных карбидообразующих элементов, но его концентрация в исследуемом сплаве весьма незначительна – 0,62%. Только при концентрации более 1% марганец становится легирующим, и способен придать стали специальные свойства²². Хотя известно, что даже такое низкое содержание марганца положительно влияет на упругие свойства стали²³. Все это говорит о том, что появление карбидов и включений ледебурита в исследуемом сплаве (необходимых для создания узорчатого булата) обусловлено не внесением специальных карбидообразующих элементов, а исключительно посредством повышения концентрации углерода за счет введения в расплав чугушной крошки (порошка).

Второе изделие представляет собой небольшое зубило, со слегка расширенным лезвием, предназначенным для рубки холодного металла. Длина его – 6 см, ширина лезвия – 1,5 см. Металлографическое исследование показало, что зубило отковано из гиперуглеродистой стали ледебуритного класса и подвергнуто термическому упрочнению (закалке). Микроструктура металла состоит из троостита, включений карбидов железа (Fe₃C) и ледебуритной эвтектики.

²² Блантер М.Е. Металловедение и термическая обработка. М., 1963. С. 252.

²³ Там же. С. 288.

Карбидные включения вытянуты по линииковки. Микротвердость троостита – 412–557 кг/мм², ледобурита – 946–1225 кг/мм², что указывает на высокие рабочие качества изделия.

Реконструкцию получения и обработки описанных железоуглеродистых сплавов можно проиллюстрировать на основе археометаллографических, исторических источников и экспериментальных данных. В числе исторических источников по интересующей нас проблеме особое место занимает трактат хорезмийского энциклопедиста XI в. ал-Бируни «Собрание сведений для познания драгоценностей» или «Минералогия». В особой главе («Железо») «Минералогии» ал-Бируни изложены его представления о черном металле и его углеродистых сплавах, описаны рецепты плавки обычной и булатной стали, имевшей характерный узорчатый рисунок на внешней поверхности, а также раскрыто содержание отдельных технологических операций по изготовлению клинкового оружия.

Согласно сообщению ал-Бируни, природное железо, или как он его называет «несоставное железо», существует в двух разновидностях: мягкое железо (собственно железо. – Н. З.) – «нармахан» (по ал-Бируни, железо «женское») и твердое – «шабуркан» (сталь. – Н. З.), называемое «мужским». Последнее отличается повышенной твердостью, принимает закалку и не поддается даже малому сгибанию²⁴. Данной характеристикой автор трактата отмечает фактически важнейшие свойства чистого железа (мягкость и связанную с ней пластичность) и стали (твердость и восприимчивость к закаливанию, производимому с целью повышения твердости металла). Закалка, в свою очередь, увеличивала хрупкость металла, что проявлялось при малейшем его сгибании.

Металлографическое изучение поделок из черного металла городища Тальхир показало, что местные мастера хорошо знали основные свойства железа и железоуглеродистых сплавов (стали) и присущие им физические признаки. Это позволяло им целенаправленно употреблять тот или иной исходный материал для производства

кузнечных изделий: простых ли вещей – гвоздей, скоб, накладок и тому подобных или более сложных – ножей, инструментов, предметов вооружения. Современными специальными испытаниями установлено, что чистое железо по пластичности близко меди²⁵. Именно это давало возможность производить изделия из железа способом глубокой вытяжки. При использовании стали учитывались характеристики оптимального соотношения твердости и хрупкости. Данное соотношение местные кузнецы регулировали специальными режимами закалки. Современное металлословение называет сталями сплавы железа с углеродом (до 2,14% углерода). При этом содержание углерода оказывает основное воздействие на свойства стали. С увеличением содержания углерода в стали повышается ее твердость и прочность и уменьшается пластичность и вязкость²⁶. Металлографические данные показывают, что кузнецы Жетысу имели на вооружении эмпирические знания, позволявшие им до определенного предела увеличивать содержание углерода в металле с помощью специального поверхностного насыщения стали углеродом посредством длительного нагрева заготовки, находившейся в тесном контакте с древесным углем. Выделявшийся из угля при высокой температуре углерод диффундировал (проникал) в металл, образуя на поверхности стальной слой.

Важным продуктом черной металлургии Жетысу являлся чугуны. Археологические исследования показали, что производили чугуны в виде специальных слитков (отливок). Один из таких обнаружен на городище Тальхир. Отливки использовались в дальнейшем в качестве исходного сырья для производства котлов, ступок, светильников, наконечников землеобрабатывающих орудий, а также являлись одним из необходимых компонентов в получении булатной стали.

В трактате «Минералогия» ал-Бируни чугуны обозначены термином «даус». Характеризуя его, автор пишет, что «даус» – твердый [металл], белый с серебристым оттенком²⁷. Высказанная характеристика чугуна достаточно точна, ибо в современном металлословении при визуальной

²⁴ Бируни Абу Райхан Мухаммед ибн Ахмед. Собрание сведений для познания драгоценностей. Л., 1963. С. 231.

²⁵ Блантер М.Е. Металловедение и термическая обработка. М., 1963. С. 120.

²⁶ Самохоцкий А.И., Кунавский М.Н. Металловедение. М., 1969. С. 190.

²⁷ Бируни Абу Райхан Мухаммед ибн Ахмед. Собрание сведений для познания драгоценностей. Л., 1963. С. 231.

оценке данного типа железоуглеродистого сплава используют критерий цвета излома металла. Белому чугуна соответствует цвет излома – светлый, белый²⁸. Согласно металлографическим исследованиям, чугуны Тальхира использовали преимущественно белый чугун, имевший, судя по всему, наибольшее распространение в среднеазиатском регионе.

Из свойств чугуна наиболее характерны более низкая температура плавления, нежели железа, и хрупкость. Ал-Бируни писал: «Жидкость его (железа. – Н. З.), вытекающая из него при плавке и очистке от камней, называется она даус, по-персидски – аста, а в области Забулистан – рау, из-за быстроты, с которой она отделяется [от породы], опережая текущее железо при плавке»²⁹.

В настоящее время известно, что разница температур плавления железа и чугуна (в зависимости от концентрации углерода) составляет от 100 до 382°C. Характеризуя хрупкость чугуна, ал-Бируни подчеркивал: «Даус не годится для того, чтобы из него одного только изготавливать мечи, он не выдерживает удара»³⁰. Это издавна известное свойство чугуна нашло объяснение в научных исследованиях: металл делается хрупким вследствие приобретенной структуры чугуна, его кристаллического и зернистого строения.

Все разновидности черного металла, относимые ал-Бируни к так называемому «природному» или «несоставному железу»³¹, являлись исходным сырьем для производства кованых изделий, чугунного литья и тигельной литой стали. Помимо него, пишет он, металлурги получали и так называемое «составное железо». «Что же касается составного из нармахана и из его воды, которая при очистке вытекает раньше, то это – сталь (фулаз) (в переводе – булаг. – Н. З.). Особенно известен ею город Герат»³². Далее ал-Бируни дает редкое в истории техники описание производства тигельной стали. Как пишет он, про-

изводство стали заключалось в совместной плавке в глиняном тигле мягкого железа и чугуна. В зависимости от технологического режима плавки, получали сталь разного состава и, как следствие, обладавшую разными физическими свойствами. «Способ получения стали [разного] состава двоякий: либо в тигле плавится нармахан (чистое железо. – Н. З.) и его вода (даус – чугун. – Н. З.) на спокойном огне и оба они соединяются так, что неразличимы один от другого, и такая сталь пригодна для напильников и тому подобных вещей... Или же плавка их в тигле проводится последовательно и между ними обоими не происходит полного слияния, а частицы их обоих располагаются вперемешку так, что каждая в отдельности ясно видна по их двум оттенкам; называется [этот узор] фиринд» (от персидского пиринд – «шелковая узорчатая ткань»)»³³. «Фиринд в Хорасане (историческая область, включавшая северо-восточный Иран, Мервский оазис, юг Туркмении, северную и северо-западную часть Афганистана – Н. З.) называется джаухар»³⁴.

Таким образом, ал-Бируни указывает на существование двух технологических схем получения тигельной стали в древности. Согласно первой схеме – совместная длительная плавка «нармахана» («мягкого железа»), под которым можно подразумевать как простое железо, имевшее ферритную структуру, так и близкую ему по свойствам малоуглеродистую сталь с феррито-перлитной структурой, и «дауса» (чугуна, введенного в виде порошка³⁵ или опилок) приводила к полному растворению чугуна в жидком металле и образованию однородной высокоуглеродистой или гиперуглеродистой (в зависимости от количества и качества введенного чугуна) стали, состоявшей из перлита и цементита (Fe₃C).

Согласно второй технологической схеме, тигельная плавка осуществлялась последовательно. Чугун, введенный в расплав, растворялся лишь

²⁸ Самохоцкий А.И., Кунявский М.Н. Металловедение. М., 1969. С. 212.

²⁹ Бируни Абу Райхан Мухаммед ибн Ахмед. Собрание сведений для познания драгоценностей. Л., 1963. С. 231.

³⁰ Там же. С. 234.

³¹ Бируни Абу Райхан Мухаммед ибн Ахмед. Собрание сведений для познания драгоценностей. Л., 1963. С. 231, 235.

³² Там же. С. 235.

³³ Там же.

³⁴ Там же. С. 236.

³⁵ Там же. С. 240. «Рассказывал мне один человек, побывавший в Синде, что [однажды] он сидел у кузнеца, когда тот изготавливал мечи, и следил за работой; железо у него было из нармахана, он сыпал его каким-то лекарственным средством в виде мелкого порошка красноватого цвета; ...и я понял, что это даус, который он примешивает к нармахану, ...подобно тому, как делаются из него выплавкою в Герате яйцевидные крицы».

частично. В результате своевременной остановки металлургического процесса одна часть чугуна уходила на науглероживание металла, т.е. растворялась, другая оставалась в слитке в виде отдельных чугуновых включений, величина и форма которых зависела от длительности процесса и размеров чугуновой крошки. Образующиеся в таких условиях железоуглеродистые сплавы в современном металловедении, в соответствии со структурой, относят к карбидному и ледебуритному классам. Характерной особенностью этих сталей является наличие в структуре металла в первом случае – большого количества карбидов, во втором – помимо многочисленных включения карбидов, частиц ледебурита. Микротвердость карбидов – 1144–1413 кг/мм²; ледебурита – 946–1314 кг/мм². Таким образом, получаемая сталь представляет собой объемное сочетание разнородных компонентов – твердой металлической основы в виде перлита, сорбита, троостита или мартенсита и распределенных в ней еще более твердых карбидов с ледебуритом, имеющих различные физико-механические свойства.

Важным показателем стали «фулаз» (булата) является узор (фиринд) на ее внешней поверхности, который образуется за счет контрастности в цвете составных частей железоуглеродистого сплава – металлической основы, карбидов (Fe₃C – химическое соединение железа с углеродом), ледебурита (недорасплавленных частичек чугуна), после воздействия на них кислотой, соком растений или иными химическими веществами. При воздействии на полированную поверхность такой стали кислотой, металлическая основа окрашивается в черный цвет, а карбиды и включения ледебурита остаются белыми и блестящими. Неоднородность металла, за счет сохранения в его объеме зерен, гнезд, скоплений, областей карбидов, мелких и крупных включений ледебурита могут создать причудливый рисунок. Согласно ал-Бируни, рисунок «фиринда» не полу-

чается соответственно заданной цели при изготовлении [меча] и не возникает по желанию, ибо он случаен³⁶. На практике это приводило к появлению изделий с самыми различными узорами. Прежде всего, они различались по соотношению белого и черного цветов. «Лучший из видов его [«джаухара»] и наиболее дорогой называется «паларк»... Из двух цветов этого «джаухара» больше бывает белого, чем черного»³⁷. В «джаухаре» другой разновидности [умрани] «преобладает черный цвет, и он наиболее красивый..., а между этими двумя имеются средние»³⁸.

Фиринд на средневековом Востоке различался и по форме рисунка. Некоторые из образцов отмечены в сочинении ал-Бируни. «Относительно фиринда йеменских мечей, – пишет автор, – говорят, что он волнистый, с одинаковыми белыми узлами на красном или зеленом поле»³⁹. Встречаются узоры, состоящие из прямых линий: «нечто подобное тропинкам муравьев», «а также и такие, которые мы описали в главе об ониксе»⁴⁰. Последний, как известно, имеет параллельно-полосчатую текстуру⁴¹. Рисунки некоторых образцов стали «фулаз» не вполне отчетливы и наблюдатель их может что-то вообразить. «Среди разновидностей джаухара имеются и такие..., рисунок которых груб и расплывчат, и в нем можно увидеть различные фигуры, какие возникают случайно из облаков или какие образует вода, растекающаяся по земле»⁴². При описании достоинства клинков с фириндом ал-Бируни упоминает и достаточно простые формы: «На обеих сторонах его ты увидишь фиринд, точно остатки нежных облачков...». Или «сталь, на поверхности которой [фиринд] точно веснушки...»⁴³. Среди йеменских мечей имелся один вид под названием «мухаввас» – украшенный блестками⁴⁴.

В заключение характеристики фиринда ал-Бируни останавливается на таких его разновидностях, которые присущи наиболее ценному булату

³⁶ Бируни Абу Райхан Мухаммед ибн Ахмед. Собрание сведений для познания драгоценностей. Л., 1963. С. 237.

³⁷ Там же.

³⁸ Там же. С. 237-238.

³⁹ Бируни Абу Райхан Мухаммед ибн Ахмед. Собрание сведений для познания драгоценностей. Л., 1963. С. 235.

⁴⁰ Там же. С. 235, 237.

⁴¹ Минералогическая энциклопедия. М., 1985. С. 433.

⁴² Бируни Абу Райхан Мухаммед ибн Ахмед. Собрание сведений для познания драгоценностей. Л., 1963. С. 237.

⁴³ Там же. С. 235.

⁴⁴ Там же. С. 238.

«[Есть] еще один вид, который называется маджли... на нем попадаются изображения животных, деревьев и других [предметов]... если же рисунок будет изображать человека, то ценность и стоимость меча еще выше»⁴⁵.

Среди булатов встречались и уникальные образцы. Один из них ал-Бируни отметил особо: «У Амра ибн Мадикариба был один меч, прозванный «Зу-н-Нун» (обладатель рыбы), так как посередине его было изображение рыбы... в день битвы при Бадре пророк... отобрал его для себя и взял его в личное владение»⁴⁶.

Металлографические анализы гиперуглеродистой тигельной стали, выявившие наличие в металле большого количества белых карбидов, сгруппированных в строчки, конгломераты, скопления, и ледебуритной эвтектики позволяют видеть в них основу узора на внешней поверхности металла, образовавшегося за счет особого расположения светлых составляющих структуры на общем темном фоне.

Карбидные и ледебуритные включения, расположенные определенным образом в исходной крице, упорядочивались специальными приемамиковки, находившимися на вооружении отдельных мастеров и сохранявшимися в тайне. Один из таких приемов описан в минералогическом трактате: «Крицу куют не по длине, а, начиная с ее «головы», пока она не расплющится как блюдо, затем разрезают ее по спирали, после чего округлости ее выравнивают в плоскость; из этого куют мечи, которые получают с джаухаром мухаввас»⁴⁷.

Современные исследования условий деформирования (ковки) сталей карбидного и ледебуритного класса установили возможность изменения распределения карбидных и ледебуритных включений в стали с помощью специальных способов пластической обработки металла, нашедших отражение в технологических рекомендациях⁴⁸.

Рисунок и грунт являлись основными показателями качества булата, на что неоднократно

указывали ал-Бируни и цитируемые им средневековые авторы. Русский металлург середины XIX в., оперировавший более поздними сведениями, отмечал: «Достоинство булатов познают азиатцы по узору, по цвету грунта, или промежутков между узорами и по отливу поверхности при косвенном направлении лучей света. Азиатцы полагают: чем крупнее, явственнее узор, тем выше достоинство металла. Узор почитается крупным, когда достигает толщины нотных знаков, средним – когда не толще обыкновенного письма, и мелким – когда можно заметить его невооруженным взглядом»⁴⁹. Крупность и явственность узоров, по мнению П. П. Аносова, определяется количеством углерода в стали, а различное расположение их объясняется «различной степенью совершенства в соединении углерода с железом»⁵⁰. Сравнение булатных изделий, имевших различные узоры, показало, что чем крупнее последние, тем тверже булат, а следовательно, тем больше заключает он в себе углерода⁵¹. Развивая эту мысль, П. П. Аносов разделил известные булаты на две категории – твердые и мягкие. При этом он отметил одно весьма важное наблюдение, подмеченное им в процессековки. Если заготовку нагреть добела (1200–1400 °С – начальная температураковки обычных углеродистых сталей), то при твердом булате она лишаетсяковки и рассыпается, а при мягком – теряет узоры⁵².

Наблюдения и догадки П. П. Аносова в отношении булата находят свое подтверждение и обоснование в современных археометаллографических исследованиях. Крупные узоры могут быть связаны с достаточно высокой концентрацией ледебуритных включений, а мелкие – карбидных. Структурный и химический анализы свидетельствуют, что тигельная сталь ледебуритного класса содержит больше углерода, чем сталь карбидного класса. Следовательно, первую можно идентифицировать с твердым булатом, а вторую – с мягким. Выявленная структура ме-

⁴⁵ Бируни Абу Райхан Мухаммед ибн Ахмед. Собрание сведений для познания драгоценностей. Л., 1963. С. 238.

⁴⁶ Там же.

⁴⁷ Там же. С. 237-238.

⁴⁸ Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М., 1975. С. 185-187.

⁴⁹ Аносов П.П. О булатах // Собрание сочинений. М., 1954. С. 122.

⁵⁰ Там же. С. 143.

⁵¹ Там же. С. 135.

⁵² Там же. С. 147.

талла объясняет и поведение твердого булата при высоком нагреве. Сравнительно легкоплавкие включения ледебурита, рассеянные в объеме металла, при нагреве до белого каления расплавились, что приводило к разрушению металла при его деформации (ковке).

Как показали исследования одной из важных технологических операций, в изготовлении изделий из тигельной стали, будь то инструменты или клинковое оружие, являлась закалка изделия. Основной целью закалки являлось увеличение твердости металла посредством изменения его структуры. Суть этой операции состояла в нагреве поковки выше температуры фазовых превращений (на 30–50° выше 723 °С) с последующим достаточно быстрым охлаждением в закалочной среде. Известно, что твердость и физические свойства стали при закалке связаны со скоростью охлаждения металла. Чем выше скорость охлаждения, тем выше показатели твердости. Однако одновременно с увеличением твердости сильно ухудшаются пластические свойства, особенно вязкость стали. Таким образом, чем выше твердость, тем ниже пластичность и вязкость. При этом металл становится хрупким и легко ломается при боковых нагрузках.

В результате закалки, в зависимости от скорости охлаждения, можно получить структуры металла с различными механическими и физическими свойствами, которые располагаются по степени твердости в следующем порядке: мартенсит, бейнит, троостит, сорбит. Мартенсит обладает наибольшей твердостью, сорбит – наименьшей, в сочетании с наибольшей пластичностью и вязкостью.

Как показали исследования, для получения необходимого комплекса механических свойств мастера средневекового Тальхира стремились использовать такие режимы закалки, которые соответствовали определенному назначению изделия. Например, при закалке ножиц, функционирование которых не связано с большими механическими нагрузками, применяли высокие скорости переохлаждения, дающие максимальную твердость. Закалка кузнечных зубил и клинкового оружия (сабель) требовала относительно малых скоростей охлаждения.

Одновременно с закалкой кузнецам необходимо было решать еще некоторые важные зада-

чи горячей обработки железоуглеродистых сплавов. Как известно, при нагреве металла под закалку происходит его химическое взаимодействие с окружающей средой и, прежде всего, с кислородом. В результате этого взаимодействия происходит обезуглероживание стали, связанное с выгоранием углерода в поверхностном слое, и окисление металла, ведущее к образованию окалины. Для исключения указанных негативных последствий мастера создавали условия, препятствующие контакту кислорода со сталью, например, зарывая поковку в горящие угли или обмазывая закаливаемую полосу клинка глиной. Один из таких рецептов термообработки содержится в «Минералогии» ал-Бируни: «При закалке клинки обмазывают горячей глиной, свежим коровьим пометом и солью, приготовленными в смеси (алмалгама), проверяют двумя пальцами место закалки с обоих его острых краев, затем прокаливают его [в горне] дутьем, и когда эта смесь закипает, его поливают водой, а потом счищают с его поверхности то, чем он был обмазан, и тогда появляется джаухар»⁵³. То есть, в ходе операции по закаливанию, оружейники использовали комплекс технологических приемов: 1) опосредованный (через глину) доступ охлаждающей жидкости (воды) к металлу уменьшал скорость переохлаждения и способствовал образованию сравнительно твердой и вязкой структуры стали; 2) изоляционный слой из глины и помета, нанесенный на клинок, препятствовал контакту стали с кислородом; 3) соль в смеси с глиной, являясь травителем, выявляла узор (джаухар) булата.

Таким образом, металлографические исследования черного металла городища Тальхир, дополняемые другими материалами, свидетельствуют о существовании тигельного производства гиперуглеродистой стали ледебуритного и карбидного классов в городских ремесленных центрах Жетысу. Наличие специфических признаков макроструктуры и микроструктуры, находящихся свое отражение в узорчатом строении стали, в совокупности с чрезвычайно высокой концентрацией углерода в металле дает основание отождествлять ее с восточным булатом, используемым не только в производстве оружия, но и режущего и рубящего инструмента.

⁵³ Бируни Абу Райхан Мухаммед ибн Ахмед. Собрание сведений для познания драгоценностей. Л., 1963. С. 237.

Открытие разнообразия структурного строения и внешнего рисунка стали расширяет наши представления о технологии производства и обработки тигельной стали и подтверждают сведения о наличии широкой номенклатуры изделий из булатной стали на городских рынках средневекового Востока, отличающихся друг от друга по месту производства, имени мастера и узору.

Резюме

Ортағасырлық Талғар қаласына жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде темірден жасалған бұйымдардың бай қоры жиналды. Талғар қаласының дерегі болатын жиынтықтағы барлық заттар мәдени қабатпен даталанады. Өзіндік сақталынуы жақсы заттар темір құрамын әртүрлі үлгіде талдау жүргізуге мүмкіндік береді. Жиынтықтағы бұйымдар тізімін жекелеп санайтын болса атауы 70-тен асады, шикізаттан дайын бұйым алғанға дейінгі металл өндеудің барлық сатысын көруге болады: шикізат, дайындалған өнім, ұста құрал-саймандары, еңбек құралдары, қару-жарақтар, ат-әбзел жарақтары, үй жабдықтарының заттары және т.б.

Қара металдан жасалған бұйымдарды құрылымдық жете зерттеуде екі құрал-сайман анықталды, қатпарлы болаттан дайындалған – гипер көміртекті тигельді құрыш ледебурит сыныбындағы (қазіргі сыныптау бойынша).

Мақала болат құрышын зерттеу тарихы мен тигельді құрыш өндірісін қайта құруға арналған.

Summary

During years of researches of the Medieval city of Tal'hir the unique collection of objects from iron were collected. Collection origins from precisely dated cultural layers of the city. The iron collection is unique by its magnificent safety, allowing to carry out the diversified analyses of structure of iron. By products in a collection which nomenclature totals more than 70 names, it is possible to look after all stages of metal working from crude preparations up to a finished object: raw material, semifinished items, the forge tool, instruments of work, the weapon, elements of horse harnesses, objects of domestic use etc.

Microstructural researches of products from ferrous metal have revealed two tools made of figured damask steel – hypercarbonaceous crucible steel of the ledeburite class (in modern classification).

The history of studying of bulat steel and reconstruction of manufacture of crucible figured steel is devoted to steel article.