

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНА РЕМЕСЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ГОРОДОВ ВОЛЖСКОЙ БУЛГАРИИ: БОЛГАР И ДЖУКЕТАУ (13 – 14 ВВ.)

Е. Ф. Шайхутдинова¹⁻³, Р. М. Янбаев¹, А. В. Беляев³, А. Г. Ситдилов^{2, 3}

¹ Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева-КАИ,

² Казанский (Приволжский) Федеральный университет,

³ Институт археологии им. А. Х. Халикова Академии наук Республики Татарстан,
г. Казань, Россия

Работа посвящена изучению поперечных изломов образцов чугунной посуды, найденной на территории Джукетауского городища. Это позволит провести сравнительное изучение ремесленных металлургических школ столицы Волжской Булгарии – Болгар и одного из крупных и важных торговых городов Закамья – Джукетау.

Ключевые слова: чугун, металлургия, Золотая Орда, Волжская Булгария, Болгар, Джукетау

RESEARCH OF THE CAST IRON MICROSTRUCTURE OF HANDI-CRAFT PRODUCTION OF VOLGA BULGARIA CITIES: BOLGAR AND JUKETAU (13 – 14 CC.)

E. F. Shaykhutdinova¹⁻³, R. M. Yanbaev¹, A. V. Belyaev³, A. G. Sitdikov^{2, 3}

¹ Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI,

² Kazan Federal University,

³ Institute of archaeology named after A.Kh. Khalikov. Tatarstan Academy of Science,
Kazan, Russia

The research is devoted to the study of cross fractures samples with cast-iron ware, found in the territory of Juketau settlement. The results of this research will allow for comparative study of handicraft metallurgical schools of the capital of the Volga Bulgaria – Bolga and one of the largest and most important merchant towns of the Zakamye – Juketau.

Keywords: iron, metallurgy, Golden Horde, Volga Bulgaria, Bolgar, Juketaw

В 14 – 15 вв. Волжская Булгария один из крупнейших регионов Золотой Орды. На ее территории согласно письменным источникам [1] располагалось не менее 10 городов. Множество больших и богатых на археологический находки поселений до сих пор ждут своей очереди на изучение. Одним из крупных и малоизученным до сих пор остается самый восточный город Волжской Булгарии – Джукетау.

На территории Джукетау найдено множество артефактов свидетельствующих не только об активном освоении территории, бурной торговле, но и возникновении собственного ремесленного производства керамики, черных и цветных металлов. Интересно, что в культурном слое 14 века основная

часть найденных металлических изделий из железа [1]. Остатки кузнечной мастерской и металлургической печи, а также многочисленные обломки чугунной посуды говорят о существовании в 14 – 15 веках металлургического производства чугуна.

Фрагменты чугунных котлов в количестве 6 штук были получены в результате археологических раскопок на территории Джукетауского городища (Чистополь, Республика Татарстан, Россия). Пять из них датируются поздним золотоордынским периодом 14 в. Один - более поздний фрагмент фабричного котла 17 – 18 вв. Его исследование проводится для сравнения технологий ремесленного и фабричного производства.

Исследования проводились на изломе 6 образцов методом оптической и электронной микроскопии оборудовании Axio Observer Z1, Axio Imager.Z2m и AURIGA CrossBeam с энергодисперсионным спектрометром Inca X-Max в Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev – KAI.

Методика подготовки проб приведена в работе [2].

Методика препарирования: образец фиксировался на токопроводящий углеродный скотч на алюминиевый держатель. Зафиксированный на держатель образец помещался в камеру электронного микроскопа. Зондирование проводилось с выбранного участка на поверхности исследуемого образца.

В ходе электронно-микроскопического анализа использовался режим VPSE (детектирование вторичных электронов в режиме низкого вакуума) для визуализации общей морфологии покрытия в панорамной съемке, а также для проведения микрозондового количественного и качественного анализа (20 кВ, 800 пА).

Микрозондовый рентгеноспектральный анализ образцов на базе энергодисперсионного спектрометра INCA X-Max (чувствительность 127 эВ) включает в себя определение состава образцов, построение спектров и карт распределения элементов.

Для визуализации участков определения состава были сделаны снимки на оптическом микроскопе AxioObserver Z1.

Сравнительный анализ проводился с ранее исследованными 15 образцами чугуновой посуды, найденной на территории Булгарского городища [2, 3].

Сравнительный анализ морфологии поверхности и формы чугуновой посуды Болгара и Джукетау не выявил существенных различий, кроме образца чугуна 17 – 18 вв.

По данным SEM образцов из Джукетау 14 в. все исследованные образцы имеют явный химический состав и структуру переплавленного чугуна. На рисунках 1 и 2 представлена типичная микроструктура объектов. Наблюдается сильная ликвация химического состава чугуна. Более поздний образец №6 имеет упорядоченную структуру с округлыми зёрнами (рисунок 3).

Образец № 1 характеризуется равномерным распределением углерода (рисунок 4), фосфор (рисунок 5) и сера концентрируется по границам мелких и крупных зёрен. Содержание углерода и фосфора варьируется в пределах 2,49...10,00 % и 0,00...7,6 %. Окисление неравномерное и соответствует расположению феррита в микроструктуре.



Рисунок 1 – Структура образца № 3

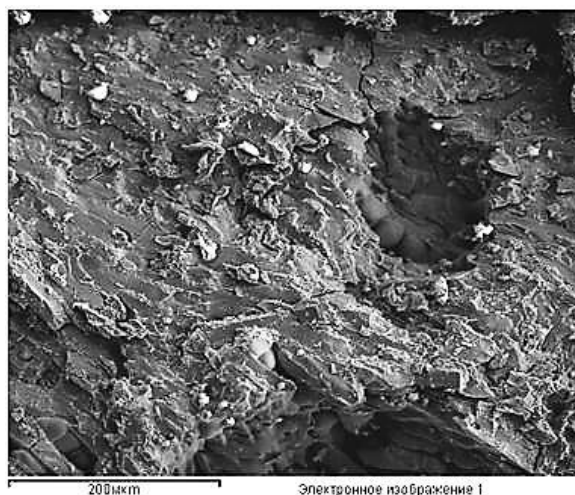


Рисунок 2 – Структура образца № 5



Рисунок 3 – Структура образца № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНА РЕМЕСЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ГОРОДОВ ВОЛЖСКОЙ БУЛГАРИИ: БОЛГАР И ДЖУКЕТАУ (13 – 14 ВВ.)

По всей площади излома в хаотичном порядке разбросаны эндогенные включения, зерна с мелким пластинчатым графитом. Структура плотная, направленная, слоистая. Усадочных пустот и пористости не наблюдается. Редкие трещины, вероятно, образованы при отборе образца.

Распределение углерода (рисунок 4), фосфора (рисунок 5) и серы аналогично образцу № 1. Содержание углерода варьируется 1,44...16,09 %, фосфора не более 8,43 %. Окисление неравномерное. Эндогенные включения расположены хаотично. В отличие от образца № 1 микроструктура данного отличается более крупными формами, что позволяет визуализировать мелкие пластинки графита более четко.

Образец № 3 (рисунок 1) характеризуется как распределенным (рисунок 4), так и концентрированным расположением углерода по площади излома. Содержание С – 4,79...19,93 %, Р – не более 1,95 %. Структура крупно слоистая плотная с эндогенными включениями. Пластинчатый графит хорошо визуализируется, видны пустые графитовые каналы.

Образец №4 характеризуется равномерным распределением фосфора (не менее 0,58 %) по всей площади излома. Содержание С варьируется 1,65...17,54 %. Углерод распределен послойно. Структура мелко слоистая с мелкими фазовыми включениями. Послойное распределение оксида железа (окисленного феррита) также свидетельствует о мелко дисперсной структуре. Присутствуют эндогенные включения, видны мелкие пустые графитовые каналы. Наблюдается газовая пористость.

Характер распределения углерода и фосфора в образце № 5 соответствует образцу № 1 и № 2 (рисунок 4, 5). Содержание С варьируется 3,79...18,70 %, фосфора – не менее 8,07 %. Структура хаотичная крупно слоистая с мелко пластинчатым графитом (рисунок 2). Окисление равномерное. Наблюдается газовая пористость.

Образец № 6 характеризуется равномерной структурой с четко выраженными центрами кристаллизации (рисунок 3). Зерна округлые. Крупные пластины графита радиально расходятся от центра зерна к краю и образуют четко выраженные дендриты. Ферритовые зерна распределены равномерно по площади излома согласно расположению оксидов железа. Содержание С варьируется 9,27...79,99 %, фосфора не более 1,67 %. Распределение углерода (рисунок 6) соответствует распределению кремния. Во-

круг границ зерен наблюдается концентрация фосфора (рисунок 7) и серы. Расположение серы совпадает с картиной распределения марганца.

Структура образцов 14 в. имеет хаотический характер с эндогенными включениями. Графит расположен не равномерно в виде мелких пластинок. Химический состав соответствует передельному чугуна. Два образца имеют литейные дефекты в виде газовых пор. Это свидетельствует о явно несовершенной технологии производства чугуна и отливок из него. Котлы из такого чугуна, вероятно, были очень хрупкими. Что косвенно подтверждается большим объемом осколков в общей массе найденных артефактов из чугуна [1 – 3].

Высокое содержание фосфора группы более ранних образцов свидетельствуют, что в качестве топлива для металлургического процесса использовался дрова. Это подтверждается тем, что структура имеет передельный характер, так как древесное топливо не может обеспечить равномерный нагрев и высокую температуру металлургических процессов.

Большое количество эндогенных включений и достаточно малыми размерами зерен говорит о том, что температура расплава могла не достигать температуры ликвидус. Что подтверждается сильной ликвацией по химическому составу в образцах.

Отсутствие характерных радиальных трещин вероятно свидетельствует о том, что все исследуемые образцы являются частью котла, располагавшегося выше уровня нагрева огнем и таким образом не подвергались постоянным экстремальным перепадам температур.

В отличие от болгарских котлов [2] не обнаружено большое количество усадочной и газовой пористости.

Более поздний образец № 6 пример направленного формирования структуры чугуна. По сравнению с ним болгарский и джукетауский чугун явно направлено не раскисляли и не модифицировали. Все примеси в раннем чугуне носят случайный характер и вероятно варьируются вследствие не стандартизированной и кустарной технологии получения чугуна и отливок из него.

Все это свидетельствует о схожести металлургических ремесленных школ Джукетау и Болгара, однако не дает достаточных оснований утверждать, что ремесленные школы идентичны.

В настоящий момент проводятся металлографические исследования продольных шлифов образцов чугуна Джукетау.

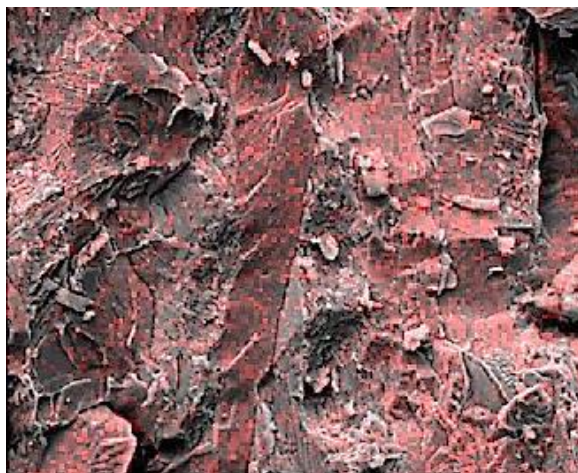


Рисунок 4 – Пример равномерного распределения углерода по площади излома (образец № 2)

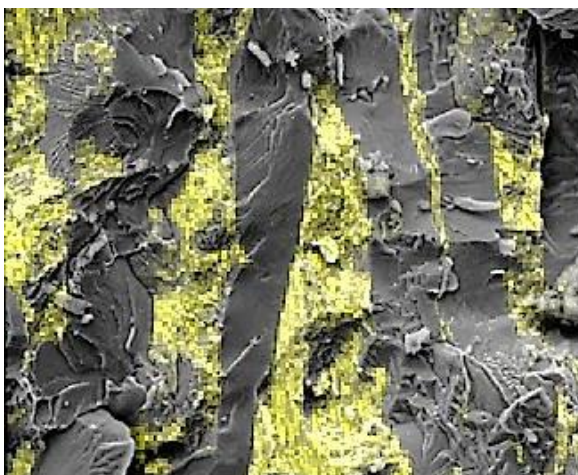


Рисунок 5 – Пример распределения фосфора по площади излома (образец № 2)

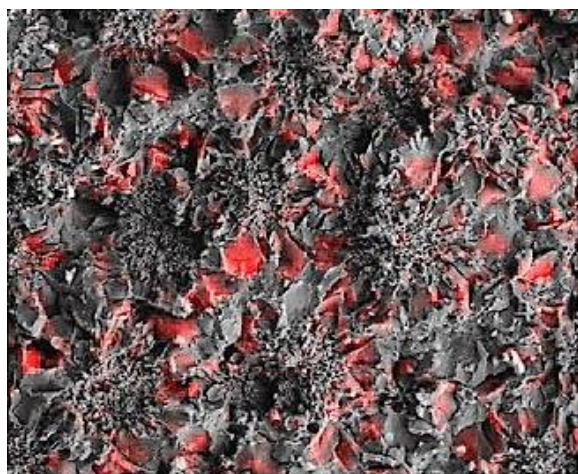


Рисунок 6 – Распределения углерода по площади излома образца № 6

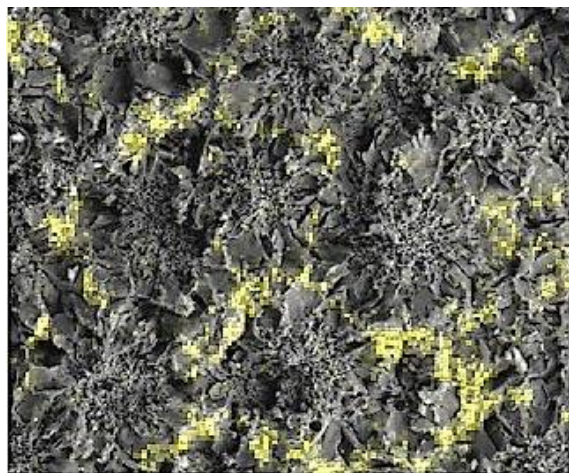


Рисунок 7 – Распределение фосфора по площади излома образца № 6

Помимо этого, в рамках проекта предполагается проведение исследований образцов выше озвученным методом из не менее двух городов Волжской Булгарии, Казанского ханства со следами металлургического производства чугуна, сравнение результатов этих исследований с образцами из Болгара и Джукетау на предмет идентичности ремесленных школ.

Работа выполнена в рамках молодежного научного гранта Президиума Академии наук Республики Татарстан для государственной поддержки молодых ученых Республики Татарстан (договор 14-58-ф Г 2016).

Список литературы

1. Набиуллин, Н.Г. Джукетау – город булгар на Каме. Казань: Татар. кн. изд-во, 2011. – 143 с.

2. E. Shaykhutdinova, A.Belyaev, R.Yanbaev, A.Sitdikov, A.Zinnatullin. Iron casting in Volga Bulgaria in 14-15 cc. // Proc. of the 1st International Conference on Metrology for Archaeology, 2015. Pp. 203-207.

3. Шайхутдинова, Е.Ф. Исследование технологических и эксплуатационных характеристик изделий чугунолитейного производства Волжской Булгарии / Е.Ф. Шайхутдинова, Р.М. Янбаев, Р.Х. Храмченкова, А.Г. Ситдилов, А.В. Беляев // Ползуновский альманах. - 2015. - Т. 2. - С. 17-20.

Шайхутдинова Евгения Флюровна^{1,3} – к.т.н., доцент¹, старший научный сотрудник²

Янбаев Руслан Мискадесович¹ – к.т.н., заведующий кафедрой

Беляев Александр Владимирович² – научный сотрудник

Ситдилов Айрат Габитович^{2,3} – д.и.н., заведующий кафедрой², директор³

¹ ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)

² Казанский (Приволжский) Федеральный университет

³ Институт археологии им. А.Х. Халикова Академии наук Республики Татарстан
г. Казань, Россия