

Состав бронзовых ножей

№ образца	Содержание, вес %					
	Fe	Cu	Sr	Ag	Sn	As
Образец 1	0.147	99.661	0.024	0.146	0.022	–
Образец 2	0.022	96.494	0.039	0.177	1.525	1.742

Автор выражает благодарность за проведение аналитических работ к.ф.-м.н. Н.И. Мезину.

Литература

Бровендер Ю.М., Загородня О.М. До проекту щодо вивчення давньої історії металовиробництва Донецького гірничо-металургійного центру (за матеріалами Картамиського археологічного мікрорайону) // Проблеми гірничої археології: Матеріали V міжнародного Картамиського польового археологічного семінару. Алчевськ, 2007. С. 26–33.

Городцов В.А. Результаты археологических исследований в Бахмутском уезде Екатеринославской губернии 1903 г. // Труды XIII АС. Т. 1. М., 1907. С. 211–285.

Татаринов С.И. Металлургия бронзы у племен срубной культуры Восточной Украины // СА, 1983. № 4. С. 32–44.

О.П. Зарицкий

Иркутский государственный университет, zaritsky@yandex.ru

Эксперимент по получению железа из руд Приольхонья с использованием сыродутных горнов

(научный руководитель С.В. Снопков)

Широкое распространение следов металлургического производства в Приольхонье свидетельствует о том, что производство железа было очень важным элементом хозяйственной деятельности древних жителей. По результатам археологических исследований в Приольхонье в разные эпохи (начиная с рубежа эр) использовали несколько типов ямных сыродутных горнов. Наиболее уникальными (пока нигде в мире не обнаруженными) являются сыродутные горны раннего железного века. Сооружение рабочих камер горнов производилось на краю предгорновой ямы. Нижнее отверстие рабочей камеры горна выходило в яму, а верхнее – на дневную поверхность. Сама рабочая камера горна имела воронкообразную форму – в виде перевернутой наклонной треугольной пирамиды с закругленными ребрами. Нижняя стенка рабочей камеры представляла собой наклонную плоскость, опускающуюся в пригорновую яму под углом 30–55°. Объем рабочих камер горнов изменялся от 0.05 до 0.35 м³. Нижнее отверстие горна закрывалось куполообразным, каменно-кирпичным сооружением с отверстиями для поддува воздуха и каналом для вытекания шлаков. Внутренняя поверхность горна футеровалась глиняной обмазкой и необожженными кирпичами с использованием арматуры из прутьев. Затем производилось «обжигание» горна, которое заключалось в прогреве футеровки [Харинский и др., 2004].

Первый эксперимент по практическому получению железа был проведен летом 2014 г. Эксперимент проводился без использования принудительного поддува. В отсутствие принудительного нагнетания воздуха процесс восстановления железа шел достаточно активно, но

образование шлаков и формирование крицы не произошло вследствие относительно низкой температуры [Зарицкий, 2015].

Целью практического эксперимента 2015 г. было получение железа с помощью ямного сыродутного горна с использованием принудительного поддува.

В качестве источника железной руды использовались бурые железняки Ольхонской серии архея. Бурожелезняковые залежи, состоящие из лимонита, гематита и мартита, приурочены к контактам архейских гнейсов Ольхонской серии с кристаллическими известняками. Образование указанных бурожелезняковых руд связано с инфильтрацией гидротермальных растворов в проницаемые зоны дробления и трещиноватости. Содержание железа в этих рудах достигает 60 % [Снопков и др., 2012]. Проявление такой руды находится на сопке возле деревни Курма, недалеко от места проведения эксперимента. В качестве топлива в эксперименте использовался древесный уголь для мангалов, приобретенный в магазине.

Для проведения эксперимента использовался горн, построенный летом 2014 г. Форма и размеры горна подобны горнам раннего железного века, обнаруженным археологами в Приольхонье. Воронкообразный горн был выкопан в суглинке на краю предгорной ямы глубиной около 1.5 м. Он имел объем около 0.05 м³. Стенки горна были обмазаны глиной и обожжены. Нижняя фурма выходила в пригорновую яму на глубине 80 см и имела изометричную форму. Фурма была закрыта «затвором» – каменно-глиняной кладкой. В нижней части затвора был сделан канал для стока шлаков, закрытый каменной пробкой.

Верхняя фурма имела форму равнобедренного треугольника с основанием 50 см и высотой 65 см. Фурма частично была перекрыта каменно-глиняной куполообразной кладкой. Для загрузки шихты и выхода дыма, в сводовой части купола было оставлено центральное отверстие диаметром около 30 см.

В горн послойно была загружена шихта (смесь исходных материалов): 20 кг древесного угля, 1 кг известняковой крошки (флюс) и 5 кг измельченной руды. Для нагнетания воздуха использовался бытовой пылесос, включенный в режим надува. Воздух нагнетался в объеме около 1 м³/мин. Горение угля продолжалось около 2 ч.

При начале снижения интенсивности пламени в горне, каменный клин, закрывавший канал в затворе нижней фуры, был выбит, и из горна вытекло небольшое количество шлака. Масса выпускного шлака составила около 600 г. После окончания процесса горения, нижняя фурма рабочей камеры горна была вскрыта, и из неё была извлечена спекшаяся масса горнового материала. Горновый материал состоял из шлака, кусочков древесного угля и обмазки, на его поверхности находились кусочки крицы (восстановленного железа). Масса горновых (донных) шлаков с разнообразными включениями (уголь, обмазка и др.) составила 4150 г. Уменьшение массы продуктов металлургического процесса по сравнению с массой загруженной шихты связано с выгоранием материала шихты.

Магнитная восприимчивость выпускного шлака составляет 0.5–5 милиЕд.СИ. У горновых (донных) шлаков магнитная восприимчивость изменялась в широком диапазоне – от 2 до 30 милиЕд.СИ, что говорит о неравномерном присутствии магнитного материала (в том числе зерен чистого железа).

Крица представляла собой пористые губкообразные удлиненные кусочки стальносеребристого цвета размером от 1 до 7 см. Масса крицы составила 150 г. Магнитная восприимчивость небольших кусочков крицы составляла 80–100 милиЕд.СИ, что свидетельствует об очень высоком содержании чистого железа.

Таким образом, в ходе эксперимента было установлено:

1. С помощью железовосстановительных горнов, широко применявшихся в Приольхонье в начале нашей эры, получение железа в виде крицы возможно только при использо-

вании принудительного поддува воздуха в горн, так как при отсутствии поддува не удастся достигнуть температуры, необходимой для образования жидкого железосиликатного шлака и крицы.

2. Восстановление зерен железа происходит при достаточно низких температурах (500–800°C), но для формирования губчатой крицы необходима более высокая температура – более 900°C). Связано это с тем, что восстановленные кристаллы железа первоначально имеют кубическую объемно-центрированную решетку, а при дальнейшем нагревании структура железа существенно изменяется. При температуре 911°C меняется пространственная решетка: атомы перестраиваются таким образом, что элементарные ячейки приобретают кубическую гранцентрированную структуру. При охлаждении железа перестройка структуры протекает в обратном порядке [Беккерт, 1980]. Перестройка структуры приводит к формированию крицы.

3. Масса полученной крицы в ходе эксперимента составляет всего 3 % от массы руды, загруженной в горн. Большая часть железа перешла в состав железосиликатного шлака. Причиной этого возможно является слишком интенсивный поддув, и как следствие, слишком высокая температура. Для повышения эффективности металлургического процесса необходимо найти более эффективный режим поддува, для чего эксперименты необходимо продолжить.

Литература

Снопков С.В., Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Харинский А.В., Кожевников Н.О. Источники руды для производства железа в древности: Курминский археологический участок. // Известия Лаборатории древних технологий: сб. научных трудов. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. Вып. 9. С. 10–30.

Харинский А.В., Снопков С.В. Производство железа населением Приольхонья в элгинское время. // Известия Лаборатории древних технологий. Вып. 2. Иркутск, 2004. С. 167–187.

Зарицкий О.П. Опыт реконструкции технологии получения железа, используемой древними жителями Прибайкалья. // Геоархеология и археологическая минералогия-2015. Миасс: ИМин УрО РАН, 2015. С. 169–170.

П.М. Мясников

МБОУ СОШ № 7, п. Култук, Иркутская обл., snopkov_serg@mail.ru

Гейзериты Приольхонья как материал для изготовления орудий труда в древности (научный руководитель С.В. Снопков)

Во время работы детской краеведческой экспедиции летом 2015 г. на побережье Малого моря (пролив озера Байкал) в местности Курма были обнаружены образцы горной породы, нехарактерной для данной местности. Это – плотная, ноздреватая порода, куски которой размером до десятков сантиметров практически не окатаны. Порода скрытокристаллическая, сложенная преимущественно халцедоном. Цвет ее светло-серый, голубоватый, коричневый, красноватый и желтоватый. Порода имеет высокую твердость.

Образцы были обнаружены на северном склоне невысокой сопки, расположенной в 200 м к СВ от деревни Курма. Все образцы были найдены на поверхности, коренного выхода изучаемой породы обнаружено не было. Образцы равномерно рассеяны на площади 100 × 50 м. Коренными породами, выходящими на поверхность на этом участке, являются гранат-биотитовые гнейсы и мраморы. Участок, где встречаются изучаемые образцы, располагается в зоне их контакта.