

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ДРЕВНЕЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ (ПО МАТЕРИАЛАМ КУЛАЙСКОЙ КУЛЬТУРЫ. ВАСЮГАНСКИЙ ЭТАП)

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РГНФ №07-01-00103а*

Представлены результаты экспериментальных исследований автора в области цветной металлообработки раннего железного века. Исследования проведены на основе археологических материалов васюганского этапа кулайской культуры и затронули вопросы организации и практической реконструкции бронзолитейного производства, изготовления экспериментальных моделей от определения состава и структуры формовочных материалов до изготовления изделий, соответствующих историческим образцам.

**Ключевые слова:** кулайская культура; цветная металлообработка; экспериментальные исследования.

Использование данных спектрального, структурного, трассологического анализов в исследовании цветной металлообработки позволяют составить определённое представление о деятельности древних литейщиков и металлургов. Каждый из традиционных методов исследования важен для теоретической реконструкции процесса производства медно-бронзовых изделий. В решении же вопросов организации литейного производства, трудоёмкости и энергоёмкости процесса в целом или на отдельных его этапах наряду с другими методами важнейшее значение имеет метод практического моделирования. Возможность личного участия исследователя в производственном процессе позволяет получить более полное представление о сути происходящего. Кроме того, в процессе моделирования исследователь имеет возможность, изменив условия функционирования теоретической модели, наблюдать и анализировать результаты изменений.

Степень достоверности полученной в ходе эксперимента информации и обоснованность выводов относительно решения поставленных перед экспериментом задач в большей мере зависит от подготовки экспериментальной базы и ответственности исследователя в выборе и соблюдении в ходе эксперимента обязательных параметров организации процесса. Речь идёт не столько о том, чтобы расплав металла соответствовал по своему составу историческому, сколько о соответствии условий практической организации процесса его теоретической модели, построенной по результатам археологических исследований. Эксперимент должен являться частью заключительной фазы исследования на уровне обобщения и интерпретации, построенного на анализе археологического материала. Эксперимент ради эксперимента, базирующийся на произвольно взятых материалах и в условиях, не соответствующих историческим, неизбежно приведёт исследователя лишь к его личному «жизненному» опыту в этой области, не более. Для построения экспериментальных моделей автор данной работы опирался на опыт других исследователей. Не всегда результаты их экспериментов соответствовали задуманному. Однако для анализа исходных данных был важен любой опыт. Так, определённый интерес в отношении зависимости обоснованности выводов по организации и структуре древнего производства от «чистоты» экспериментальных исследований представляли работы И.Г. Глушкова по реконструкции бронзолитейного производства ранней и раз-

витой бронзы таёжной зоны Западной Сибири и моделировке литья [1. С. 39].

Основным условием проведённого им эксперимента по плавке металла было отсутствие искусственного дутья, мотивируемое тем, что на поселениях бронзового века глиняные сопла не встречены. По сообщению исследователя, металл достиг жидкой фазы при разогревании тигля в продуваемом ветром костре типа «нодья» без искусственной тяги. Археологические материалы свидетельствуют о том, что кулайцы производили плавку металла в очагах жилищ, где едва ли возможно было достичь сильной тяги за счёт большого ветра. Кроме того, температура плавления высокооловянистой бронзы, использованной в эксперименте достигает 698°, что вполне возможно получить в продуваемом ветром костре [2. С. 108]. Результат спектрального анализа кулайского инвентаря свидетельствует о применении кулайцами «черновой» меди и низкооловянистых бронз, лигатура олова в которых едва превышает 9%. Такой металл можно расплавить только при более высоких температурах – от 975 до 1030°, получаемых с помощью искусственного нагнетания воздуха в горн, причём разливка металла в формы возможна только при его перегреве порядка 110–150°, т.е. при температуре не менее 1100–1200° [3. С. 206]. Отливки планировалось производить в земляных формах, бытовавших, по мнению автора эксперимента, в то время [1. С. 39]. При этом не было принято во внимание то, что собственно земляные формы, применяемые в литейном производстве, – изобретение средневековых мастеров. Такая формовочная смесь (земля) состоит из искусственно составленных химических компонентов с подбором огнеупорных глин (например, бентонитовых) и песков (SiO<sub>2</sub>). Естественная земля из-за обилия в ней органических соединений, известковых включений и прочего для применения в качестве формообразующего материала использоваться не может. Форма, изготовленная из естественной земли, неизбежно разрушится при заливке в неё меди или сплава на медной основе ещё на жидкой фазе металла. Следовательно, постановка вопроса о литье кулайцами изделий в земляные формы едва ли резонна.

В ходе эксперимента жидкая фаза металла была получена на костре без поддува и без особых усилий со стороны исследователя. Несмотря на то, что не было отлито ни одного изделия, аналогичного историческим, автор работ пришёл к выводу об «относительной простоте и обыден-

ности» бронзолитейного производства. Восприятие литья как трудоёмкого и особо значимого для древних процесса оказалось, по его мнению, лишь мифом [1. С. 39].

Состоявшимся и значимым можно считать эксперимент, в ходе которого осуществлены все фазы процесса и получен определённый результат, причём процедура его получения должна быть проведена неоднократно в аналогичных условиях и при строго выдержанных, контролируемых исследователем параметрах. Насколько велика научная значимость эксперимента, если у исследователя нет возможности (например, из-за сильного жара костра) контролировать процесс на его этапах (фазах) и возможна лишь конечная констатация результата типа «металл расплавился»?

На совершенно иных принципах строились экспериментальные исследования С.А. Григорьева и И.А. Русанова в 1989–91 гг. В построении экспериментальной модели ими использовались материалы металлообработки Аркаима – археологического памятника XVIII–XVI вв. до н.э. Комплексные исследования включали: реконструкцию теплотехнических сооружений, выжиг угля, выплавку меди из руды, производство технологической керамики [4. С. 147–158]. Важным представляется вывод, к которому пришли исследователи: нельзя построить общую, достоверную для всех обществ универсальную модель металлургии или металлообработки. Экспериментальные «работы должны быть привязаны к конкретному археологическому прототипу, повторять его технологические сооружения и базироваться на тех же сырьевых источниках» [4. С. 157]. Эксперимент как часть аналитических исследований можно представить точным инструментом, воздействующим не на всё производство как область исследования, а на конкретную его часть – звено в общей системе.

Более широкие задачи решались в ходе экспериментальных работ на Самарской Луке в 1986–1990, 1992 гг. под руководством С.А. Агапова. Исследования включали весь цикл металлообработки – от подготовительных операций (выжиг угля, создание технологической керамики и т.д.) до моделирования процесса литья и обработки полученных изделий [5. С. 35–37]. За прототип была взята местная металлообработка позднего бронзового века. Особое значение в эксперименте придавалось получению качественных отливок, соответствующих по внешнему виду историческим. Плавка производилась в полузакрытых гонгах с искусственным поддувом. В качестве топлива использовался древесный уголь. Всего было поставлено около 70 опытов, однако исследователям так и не удалось решить вопрос раскисления купридов, периодически образующихся при вторичной и последующих переплавках металла и отрицательно влияющих на качество отливок [5. С. 37]. В ходе экспериментов определялась зависимость сокращения теплопотерь от размеров операционного пространства горна. Отработанная «идеальная» технология предполагала возможное уменьшение рабочей полости горна при подаче в него воздуха через сопло, направленное внутрь тигля, а не под его дно.

Экспериментальные исследования автора на базе Томского госуниверситета показали, что размер полости горна не имеет принципиального значения при достижении температуры, необходимой для расплавления

в тигле небольшого количества металла. Более того, значимым для удачного завершения операции являются качество топлива и сила дутья, причём не столь важно, под каким углом к тиглю направлено сопло. Результат опытов на Самарской Луке показал, что «процесс литья цветных металлов состоит из нескольких стадий, каждая из которых требует соблюдения тончайших нюансов, познаваемых нередко только эмпирически» [5. С. 36].

Построение производственной экспериментальной модели должно базироваться на изучении сохранившихся на изделиях следов производства, причём, как отмечал С.А. Семёнов, «...анализу подвергаются две группы следов: 1) следы изнашивания или употребления и 2) следы обработки» [6. С. 5]. Формальный подход к анализу имеющихся на изделиях следов может привести к неверным выводам относительно применяемых в производственном процессе операций, когда, например, продольные следы спила и заточки литника на изделии можно принять за отпечаток поверхности модели на внутренней стенке формы. Относительно реконструкции приёмов цветной металлообработки нельзя не согласиться с точкой зрения Г.Ф. Коробковой, отмечающей подчинённость экспериментальных исследований трассологическим [7. С. 14].

Значимость экспериментальной работы во многом определяется задачами и методикой её выполнения. Так, можно изготовить орудие, внешне похожее на древнее, не уделяя внимания технологическому аспекту. Результат в этом случае будет ярким показателем опытности мастера. Более важными представляются опыты по восстановлению древней технологии, моделируемой по результатам исследований, даже и не давшие в результате ярких изделий, подобных историческим, но позволяющие исследователю зримо и объективно судить о процессе. Обоснованием экспериментальных работ, произведённых автором, послужили пять положений, сформулированных Р. Эшером: превращение рабочей гипотезы в проверяемую форму; отбор экспериментального материала; возможность оперирования материалами; наблюдение результатов эксперимента; интерпретация результатов в заключение [8].

При этом учитывалась необходимость соблюдения следующих условий: выбор именно того материала, который был доступен древним литейщикам; поиск среди археологических материалов аргументированных доказательств правильности теоретически построенной модели; исполнение максимального количества возможных экспериментальных вариантов.

Всего плавка металла в экспериментальных горнах проводилась автором 27 раз. Горн оборудовался на Иткульском I городище близ д. Даутово в Челябинской области [9. С. 100–108], на Мысовском 2 поселении и поселении Малгет в Колпашевском районе Томской области [10. С. 109–117; 11. С. 142–143; 12. С. 26–34], на оз. Арантур в Советском районе Ханты-Мансийского автономного округа. Первые попытки расплавить медь в открытом горне на костре имели место на территории поселения Малгет. В горн – обмазанное слоем глины блюдцеобразное углубление диаметром около 0,8 м, загружались сухие берёзовые дро-

ва. В центре горна на камне был установлен глиняный тигель со слитками меди. Воздух нагнетался в горн через сопло простейшим однокамерным мехом. Интенсивное горения дров, что по замыслу эксперимента должно было обеспечить высокую температуру, сделало совершенно невозможным из-за сильного жара манипуляции с мехом, установленным непосредственно у горна, и тем более с тиглем, находящимся в эпицентре костра. После двух попыток был констатирован отрицательный результат. После затухания костра выяснилось, что тигель по верхнему краю ошлаковался, медь в тигле так и не расплавилась. Стала очевидной необходимость поиска других решений построения экспериментальной модели, опирающейся на аналитические разработки и данные археологических исследований.

Разработанная программа экспериментальных работ включала следующие направления: 1. Подготовительные работы, предусматривающие обработку технологии выжигания угля; подготовку сырья для изготовления тиглей, форм, сопел; изготовление мехов; сооружение горнов. 2. Изготовление литейных форм, тиглей, сопел. 3. Плавка металла и заливка его в формы. 4. Обработка экспериментальных отливок.

**Экспериментальные модели.** Выжиг угля. Древесный уголь использовался во всех металлургических и металлообрабатывающих производствах древности. Углежжение представляет собой процесс, при котором в ходе камерного нагревания дерева происходит его разделяющая дистилляция. Процесс преобразования дерева в уголь сопровождается выделением дистиллята – древесного дёгтя, образующего на стенках камеры тонкий налёт. Для протекания процесса необходимо отсутствие доступа воздуха в рабочую камеру. В древности, как известно, применяли два способа выжигания угля: в ямах и штабелях (кучах). Серия экспериментов по выжигу угля была проведена чешскими археологами в Бржезне. Лучший результат они получили при выжиге в штабелях, высота которых составляла около 1,5 м. Однако постоянно появляющиеся в дерновом покрытии штабелей разломы и трещины создавали угрозу золообразования [13. С. 156]. Исследователи не учли, вероятно, что при выжиге угля в ямах поверхность дернового покрытия дров меньше и, соответственно, меньше угроза нарушения восстановительной среды при проникновении воздуха через разломы в дерновом покрытии.

На Степановском 1 поселении (Томская область), восточнее жилищной западины № 2, была обнаружена яма, интерпретированная Л.А. Чиндиной как яма для выжигания угля [14. С. 186]. Общая глубина ямы составила около 1,4 м. Её конфигурация по мере углубления менялась – от овальной (3 на 3 м) до прямоугольной (2,2 на 1,2 м). К восточной стенке ямы подходил воздушный канал. Из-за фрагментарности обследования поселений раннего железного века «степановская» яма для выжигания угля уникальна. Её сохранность и полученные в ходе раскопок материалы позволяют проследить основные принципы организации процесса. Можно было сделать вывод о том, что выжиг угля производился в ямах глубиной до 1,5 м. Именно такая глубина позволяет человеку стоя в яме манипулировать с дровами, а затем с углём без дополнительных опорных при-

способлений. Для доступа воздуха и активизации процесса возгорания дров на начальной стадии использовались воздухопроводные каналы. Очевидно, после разогрева ямы доступ воздуха в нее перекрывался, создавались условия для безвоздушного горения.

Технология экспериментального выжигания угля, основанная на археологических материалах, была отработана автором в ходе первых опытов на Иткульском 1 городище [9. С. 100]. Дальнейшие опыты строились по отработанной схеме, эффективность которой подтвердилась в ходе экспериментальных работ по плавке медных руд на поселении Аркаим [4. С. 150]. В ходе этого эксперимента выжиг производился в ямах подквадратной формы со стороны 1,1–1,2 м, глубиной 1,0–1,2 м. Лишь в двух случаях использовались траншеи размером 3 на 1,1 на 0,8 м. Всего было оборудовано десять объектов. В каждый закладывалось около 1 м<sup>3</sup> дров, из них 15–20% – в сыром виде. Часть дров была наколота, остальные загружались в яму некрупными брёвнами длиной до 1 м. Дрова укладывались вертикальными ярусами. Высота укладки во всех случаях составляла 1,8–2,0 м со дна ямы. После этого выступающая из ямы часть дров плотно перекрывалась пластиками дёрна. В нижней части кладки оставлялось одно-два запальных отверстия, в верхней – отверстие для выхода дыма. После полного загорания дров (через 20–25 мин) отверстия плотно забутовывались дёрном. О продолжительности процесса можно было судить по интенсивности дымовыделения, просачивающегося через дёрн. Весь процесс обычно занимал 7–9 суток. Выборка угля производилась после полного прекращения дымовыделения и остывания поверхности дёрна над ямой. Выход угля составлял от 80 до 100 кг в траншее и 35–40 кг в ямах. Перегорало обычно от 75 до 90% дров. Качество угля хорошее. Размер отдельных целых фракций достигал 20–25 см. Эксперимент показал, что физические характеристики сырья (степень сухости, размеры) не влияют существенно на качество полученного угля.

По результатам проведённых исследований можно отметить, что процесс выжигания угля требует постоянного контроля, в противном случае, в результате проседания отдельных кусков дернового покрытия, начинается интенсивное открытое горение сырья, что приводит к золообразованию.

**Моделировка литейных горнов.** В раннем железном веке основным теплотехническим сооружением для расплавления металла, как отмечают Л.А. Чиндина [14. С. 137] и М.П. Грязнов [15. С. 141], был открытый очаг. Часто в очагах жилищ обнаруживаются тигли, как целые, так и в обломках, всплески металла, пережжённая кость. Это подтверждает предположение об использовании очага в качестве горна открытого типа. Однако горн, в отличие от очага, предполагает дополнительные технические приспособления – воздухопроводные каналы. О применении искусственного дутья свидетельствует отверстие для сопла во фрагменте обмазки горна, обнаруженного на Саровском городище [14. Рис. 26–14, 16].

Плавка меди в открытых горнах считается древнейшей. С.Г. Струмилин пишет, что «этот метод надо считать, пожалуй, примитивнейшим и древнейшим» [16. С. 11]. У лесных культур Западной Сибири очажный метод плавления меди просуществовал, вероятно, вплоть до широкого внедрения технологии получения

железа, металлургия которого требует более сложных теплотехнических сооружений. В первозданном виде не сохранился ни один из древних горнов, поэтому восстановить этот вид теплотехнических сооружений возможно только с применением аппликативного метода, суть которого заключается в реконструкции объекта по элементам, его составляющим, сосредоточенным в культурном слое памятника, образованным вследствие имевшей место трудовой деятельности.

В нашем случае элементарными составляющими являлись фрагменты обмазки (Саровское городище) и ямки от колышков вокруг очага, послужившие основанием для реконструкции объекта [14. Рис. 6–2 а, 4 а]. За основу экспериментальной модели медеплавильного горна открытого типа были взяты остатки объектов, изученных на памятниках раннего железного века. Экспериментальный горн представлял собой блюдцеобразное углубление глубиной 15–20 см, диаметром 50–60 см на песчаной подушке, высота стенки которой составляла 5–6 см. Под (дно) горна покрывался слоем глины 2–3 см. Подача воздуха в горн осуществлялась через глиняное сопло ручным мехом. Диаметр выходного отверстия сопла – 3,5 см, длина – 33 см. Максимальная интенсивность дутья могла доводиться до 1 м<sup>3</sup> в минуту и не требовала больших физических затрат. Информация о приспособлении, нагнетающем воздух в горн, к настоящему времени ограничивается лишь отверстиями от сопел в кусках обмазки горна. Можно предположить, что в простейшем теплотехническом сооружении применялся простейший мех, например кошелькового типа, изготовленный из кожи. Механизм работы такого меха достаточно прост. Открывая верхнюю часть чулка меха и расправляя её вверх, литейщик наполнял мех воздухом, затем, сомкнув верхние края, сжимал чулок книзу, нагнетая воздух в горн через сопло, соединённое с мехом в его нижней части. Для проведения эксперимента был изготовлен двухкамерный мех постоянного дутья, конструкции, применяемой до настоящего времени кузнецами в кустарном производстве. Построенные в ходе эксперимента модели не были копиями конкретных сооружений, но по основным параметрам были близки ряду объектов, исследованных на раннежелезных памятниках (Степановский, Барсовский комплексы, Усть-Киндинское, Киндинское 2 и другие поселения).

Шесть плавок было произведено в экспериментальной постройке каркасно-шатрового типа, реконструированной по материалам раскопок Л.А. Чиндиной [14. С. 17–18]. При разработке экспериментальной модели жилища учитывались реальные показатели характеристик столбовых ям (диаметр, глубина, место расположения в котловане). Каждая из групп ям характеризовала детали конструкции каркаса. Размер заглублённого на 0,5 м котлована составил 4,5×4,5 м, высота строения – 2,2 м, размер дымового отверстия в крыше – 0,4×0,4 м. Каркас строения состоял из четырёх вкопанных в пол на 0,2–0,3 м столбов и лежащих на них поперечных и продольных лаг. Стены образовали поставленные наклонно жерди, крышу – жерди, лежащие горизонтально. Нижняя часть стенок была присыпана землёй. Очаг-горн был сооружён в центре пола жилища.

*Глиняные формы.* В ходе эксперимента отливались хозяйственные и культовые изделия. О характере сырья, использованного литейщиками эпохи раннего железного века для изготовления форм для отливки наконечников стрел, кельтов, клевцов, украшений, можно судить по находкам на поселениях. Все формы изготовлены из глины, содержащей большой процент песка и значительное количество шамота. Всего было изготовлено семь экспериментальных двухстворчатых форм для отливки кельтов и три трёхстворчатые для наконечников стрел. В качестве основного отощителя использовался речной песок. Его процентное отношение к глине колебалось в пределах – от 20 до 50. Во всех вариантах формовочной смеси присутствовал шамот – измельчённая обожжённая глина. Его количество колебалось в пределах 10–25%, причём если в смеси содержалось максимальное количество песка (до 50%), то шамота было минимум (около 10%). По своему составу шамот полностью соответствовал составу смеси для изготовления форм. Эксперимент показал, что добавление шамота в глину снижает механическую усадку изделий во время сушки и обжига. Термостойкость изделия зависит от количества песка в тесте. Экспериментальные смеси, состав которых включал 15–20% песка и 15–20% шамота, оказались наиболее оптимальными для изготовления форм кельтов и наконечников стрел.

При формовке в эпоху раннего железа, как отмечают М.П. Грязнов, В.Н. Чернецов, В.Ф. Старков и Л.А. Чиндина, применялся метод оттиска негатива в глине по деревянным моделям [15. С. 91; 17. С. 146; 18. С. 16; 14. С. 140]. Моделью могло служить и готовое изделие. Способ формовки всех экспериментальных объёмных изделий – модельный. Формы готовились по деревянным моделям кельта и трёхлопастного наконечника стрелы среднеобского типа. После просушки формы обжигались в костре, а затем в горне. После обжига створки формы соединялись, а внутрь впрессовывалась мягкая глина, в состав которой, кроме песка и шамота, входило немного травы. Так формировалось тело сердечника. В верхней части сердечника моделировалось грибовидное навершие с отверстиями для заливки металла, опирающееся на верхние края стенок формы. Толщина стенок отливаемой детали определялась толщиной снятого с поверхности внутреннего оттиска изделия слоя глины. С двух сторон сердечника оставались штифты. Они определяли устойчивость сердечника в форме, выполняя роль распорок. Для получения ребра жёсткости (перемычки) внутри лезвия кельта в нижней части сердечника делался поперечный пропилен. После просушки сердечник обжигался.

Во время заливки в состыкованную форму металл заполнял весь свободный объём. На месте штифтов в стенках отливок оставались отверстия, через которые затем выбивался сердечник. Каждое изделие изготавливалось с потерей сердечника. Форма же могла использоваться неоднократно. Так, одна из экспериментальных форм кельта выдержала пять заливок металлом. И только из-за скалывания негатива орнамента на внутренних поверхностях створок она была выведена из эксплуатации. Подобная техника формовки являлась универсальной и использовалась для производства объёмных наверший, наконечников

копий, украшений, т.е. любых объёмных пустотелых изделий.

*Тигли.* Для тиглей, как и для литейных форм, требуется специальная огнеупорная смесь. Попытки выполнить тигли из глины без достаточного количества отощителей неизбежно приводили к их потере во время первой же плавки [9. С. 108]. В горне они растрескивались, тесто плавилось и ошлаковывалось. Тигли с подобными дефектами часто обнаруживаются на поселениях, например, Вачим – 7 в Сургутском Приобье [19. Рис. 17]. Оптимальный состав экспериментальной смеси включал около 25–30% песка и 10–15% шамота. Формой и объёмом экспериментальные тигли повторяли известные археологические образцы. В одном тигле можно было провести до 7–9 плавков, затем начиналось его растрескивание.

*Сопла.* Экспериментальные сопла выполняли свою функцию после просушки и обжига не требовали. Поэтому, вероятно, они отсутствуют среди находок на поселениях. Лишь отверстия в обмазке горнов, подвергшейся обжигу во время процесса плавки, свидетельствуют о применении сопл в производственном процессе.

*Формы для отливки плоской металлопластики.* Среди археологических находок нет форм или их фрагментов для отливки плоской, в том числе ажурной, металлопластики васюганского этапа кулайской культуры. Это давало основание предположить, что такие формы были недолговечными. Сильная зернистость поверхности плоских культовых изделий вызывала у исследователей ассоциацию литья в землю или в песок [14. С. 140]. Использование песка в качестве одного из основных компонентов литейной формы отмечено и в сообщении И.В. Малахова. Он писал, что «формы для отливки идолов... приготавливаются самими дикарями из песка и камня» [20. С. 20]. Тем не менее простейшие опыты показали, что закрытую форму, а именно в таких формах были отлиты плоские культовые изделия, только лишь из песка изготовить не возможно. Проблематичным также представляется применение древними литейщиками и земляных формовочных смесей, открытых лишь мастерами эпохи Возрождения [21. С. 27]. Основой экспериментальной смеси для отливки плоской металлопластики послужил речной песок, состоящий из кварца и кремнезёма ( $\text{SiO}_2$ ), имеющего температуру спекания выше  $1750^\circ$ . В качестве связующего компонента использовалась глинистая составляющая (от 12 до 30%), состоящая в своей основе из монтмориллонитовой глины. Третьим компонентом была вода – 15–18%. Из полученной формовочной смеси готовились два одинаковых плоских прямоугольных кирпича. Один являлся основной створкой формы, другой – крышкой. Способ формовки – безмодельный. Негатив изделия вырезался в основном кирпиче сырой формы, после чего в крышке и в основной части формы с торцевой стороны прорезалось литниковое отверстие. Затем створки связывались и ставились вертикально. С торца производилась заливка металла в форму. Обжига песчано-глинистые формы не требовали. Достаточно было просушить их около костра в течение 4–6 ч, сведя количество влаги в смеси примерно до 2–5%. Всего в полевых условиях было изготовлено 5 форм из песча-

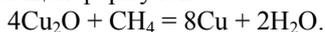
но-глинистой смеси. Необходимо отметить, что во время просушки формы непосредственно у огня на стенках и поверхности негатива изделия осаждаются тонкий слой копоти, который увеличивает огнеупорность формы, повышает чистоту поверхности отливки и придаёт ей своеобразный тёмный оттенок.

В ходе экспериментов имели место попытки использовать вместо глины в качестве связующего компонента озёрный или речной ил (сапропель). Однако интенсивное газовыделение, возникающее при контакте металла с песчано-илистой формой, всякий раз приводило к уменьшению резкости рельефа отливки. Всего было изготовлено три песчано-илистых формы. Тем не менее когда в зимнее время найти глину сложно, древние литейщики могли заменить её илом, добытым со дна водоёма. В коллекциях встречаются изделия с как бы замытой поверхностью, изготовленные, возможно, в песчано-илистых формах. Во время работ по историко-культурной экспертизе землеотводов под нефте-газозаботки в Сургутском районе Ханты-Мансийского автономного округа было обследовано разрушающееся поселение раннего железного века Амтуньох-3. Среди собранных на поверхности находок были обнаружены артефакты, прямо подтверждающие теоретически построенную модель. Были обнаружены два трёхлопастных наконечника стрел, один из которых был явно бракованной поделкой. При детальном изучении найденного керамического материала была обнаружена находка, являющаяся поистине уникальной. Речь идёт о сильно оплавленной внутренней поверхности формы для отливки наконечника стрелы [20. С. 72–85]. Это был негатив изделия в виде стекловидной корочки, повторяющей поверхность бракованного наконечника. Остальная – основная часть – формы отсутствовала. Скорее всего, форма была изготовлена не из глины, а из песчано-глинистой смеси вроде той, что использовалась в эксперименте. После окончания процесса отливки, закончившегося неудачей, форма под воздействием воды распалась на исходные компоненты – глину и песок. И только ошибка древнего литейщика в подборе формовочной массы, приведшая к спеканию формовочной смеси в месте соприкосновения с расплавленным металлом, позволила подтвердить экспериментальную разработку. Среди прочих керамических фрагментов, собранных на аварийном памятнике, деталей литейных форм выявлено не было.

*Плавка меди.* Для плавки использовались слитки металлургически «чистой» меди. Одна загрузка тигля составляла от 250 до 900 г. Тигель устанавливался на плоский камень в центральной части горна (возможна установка на кусок керамики), в 5–10 см от конца сопла, выведенного через стенку во внутреннее пространство горна. Одна загрузка угля в горн составляла 8–12 кг. В течение 5–7 мин горн разогревался, а через 15–20 мин интенсивного дутья начиналось плавление меди. В момент наивысшего накала тигель имел беложёлтый цвет. Его можно было наблюдать сквозь горящий уголь. Готовность металла к заливке можно было определить, помешав его палочкой. Заливка металла в формы осуществлялась в тот момент, когда он терял вязкость и достигал жидкой фазы. При попытке залить металлом поочерёдно две подогретые формы, удачной

была только первая отливка. Поставленная рядом вторая форма полностью не заливалась. Вынутый из горна металл в тигле быстро терял жидкотекучесть.

В процессе эксплуатации горна температурные замеры не производились, но визуально можно было определить, что наибольшая температура концентрировалась на небольшом участке горна в диаметре 15–20 см непосредственно у сопла, и определённо достигала более 1100° (температура плавления меди составляет 1083°). Пламя здесь было почти бездымным. Небольшая теплоотдача работающего горна позволяла находиться рядом и контролировать процесс плавки. Под контролем понимается возможность влияния на процесс плавки, при котором литейщик может поправить тигель в работающем горне, проверить состояние металла, степень его расплавленности, помешивая палочкой содержимое тигля. В современной металлургии процесс помешивания металла в тигле деревянной жердью называется «дразнением». Дерево, опускаясь в расплавленный металл, выделяет газообразные углеводороды, способствующие удалению растворённых в расплаве газов. Газообразные углеводороды раскисляют медь, увеличивая её жидкотекучесть и уменьшая краснотекучесть. Происходящий процесс можно обозначить следующей формулой:



Не случайно многим плоским отливкам свойственно большое количество просветов в деталях и тонкость перемычек, что возможно лишь при хорошей жидкотекучести металла. Пожароопасность работающего горна была не большей, чем у зажжённого очага. Температура воздуха у стен в жилище не превышала 25°.

На одну плавку уходило около половины объёма засыпанного в горн угля, что составляло 4–6 кг. Остальной уголь, находящийся в стороне от эпицентра температуры, в процессе одной плавки не задействовался. Три формы для отливки кельтов, изготовленные с преобладанием в тесте шамота над песком (20–25% шамота и 10–15% песка) пришли в негодность (растрескались) после одной заливки металлом. Две формы с составом 40–50% песка и 10–15% шамота выдержали соответственно две и три отливки, после чего одна растрескалась, на другой скололся негатив орнамента. Лишь две формы для отливки кельтов, в тесте которых было 15–20% песка и столько же шамота, выдержали соответственно пять и шесть заливок металлом. Формы для отливки наконечников стрел заливались по одному разу, причём все отливки вышли с браком. При первых попытках отлить кельт металл заливался в холодную форму. При этом всякий раз происходил его выброс из формы, сопровождающийся эффектом кипения. Положение исправили, нагрев форму до 150–200°. Лишь после этого отливки получились качественными. При нагревании металла в горне визуально наблюдается чёткая граница его перехода из твёрдого состояния в жидкое. На начальной стадии вместе с повышением температуры в горне нагревается и металл. Однако наступает момент, когда подвод тепла продолжается, но не приводит к повышению температуры металла. Поступающая тепловая энергия расходуется на разрушение его кристаллической решётки. Внешне это проявляется в переходе твёрдой фазы в жидкую. После раз-

рушения последних участков кристаллической решётки продолжающийся подвод тепла приводит к дальнейшему повышению температуры жидкого металла. При охлаждении происходит обратный процесс. Начавшаяся кристаллизация сопровождается выделением тепла, аккумулированного металлом ранее, в процессе разрушения кристаллической решётки. При заливке металла в холодную форму, обладающую малой теплопроводностью, происходит его быстрое остывание, сопровождающееся выделением энергии. Выделяемая в ходе резкой кристаллизации свободная энергия, суммируясь с энергией расплавленного металла, непрерывно заливаемого в форму, приводит к перегреву металла, что и вызывает эффект его кипения. Если форма прогрета недостаточно, то происходит местное вскипание металла и на отливках образуются раковины, принимаемые иногда за последствия коррозии. Более продолжительное равномерное остывание металла в предварительно нагретой форме не даёт энергетического выброса. При недостаточном разогреве металла (на грани кристаллизации) его энергетическая ёмкость мала. Выплеска из формы, даже холодной, не происходит. Однако металл не успевает заполнить всю полость формы, и отливка в этом случае бывает не полной. Таким образом, можно констатировать, что все глиняные формы перед заливкой металлом подогревались не менее чем на 150–200°. В одну глиняную форму, изготовленную из огнеупорной смеси, можно производить несколько заливок металлом. Однако каждая последующая отливка будет в какой-то степени хуже предыдущей. Соприкосновение расплавленного металла с внутренней поверхностью формы приводит к её выкрашиванию и скалыванию фрагментов, что, в свою очередь, влечёт дефекты отливки. Грани изделий при этом теряют чёткость, а мелкие детали декора размываются.

При рассмотрении серии отливок, происходящих из одной формы, может сложиться ошибочное впечатление, что в ходе многократной формовки постепенно приходила в негодность модель и натёки на отливке есть следы её ремонта. Металл лишь чётко повторял нечёткий негатив формы. Именно так ошибочно интерпретировал Р.С. Миносян процесс производства пермских «чудских образков», анализируя отливки, произведённые явно по одной модели и в одной постепенно приходящей в негодность форме [23. С. 119–127]. В ходе проведённых экспериментальных исследований удалось получить из одной глиняной формы кельта 6 отливок. Декор последнего кельта отдалённо напоминал декор первого. По остальным параметрам кельты были одинаковыми, хотя поверхность стенок последней отливки имела значительную шероховатость. На одной из её граней появилась «заплата», возникшая из-за скалывания фрагмента негатива. Все экспериментальные песчано-глинистые формы залились полностью. Спекания смеси не произошло. Поверхность изделий, отлитых в этих формах, близко напоминала поверхность раритетов. Материал форм после заливки металлом сохранял гигроскопичность. Под воздействием влаги формы быстро размывались на первоисходные компоненты – глину (ил) и песок. Возможно, поэтому среди археологических находок, как правило, отсутствуют формы или их фрагменты для отливки металлопластики.

#### Выводы:

1. Наиболее трудоёмкими и продолжительными являются подготовительные работы, включающие выжиг угля, подготовку формовочной смеси необходимого качества, оборудование горна, изготовление форм, тиглей и сопел. Наиболее сложным в управлении является процесс выжига угля.

2. Конструктивные особенности горна в меньшей степени влияют на процесс плавки, чем качество угля и интенсивность принудительного дутья.

3. Приготовление технологической керамики требует специальных навыков и является самостоятельным направлением в керамическом производстве.

4. Разогрев металла в горне до состояния жидкой фазы возможен только при использовании в качестве топлива древесного угля. Это позволяет концентрировать температуру на локальном участке выхода воздуха из сопла, а не распылять её, как это происходит при горении дров в очаге.

5. Во время работы горна открытого типа литейщик мог находиться рядом и контролировать процесс плавки, несмотря на высокую температуру.

6. Наиболее вероятным материалом для формовки плоских культовых раннежелезных изделий являлась

песчано-глинистая и, в меньшей степени вероятности, песчано-илистая смесь. Обжига высушенная форма не требовала.

7. Изделия, задуманные изначально с гладкой поверхностью, отливались в формах, выполненных из глины по той же технологии, что и формы для отливки, например, кельтов.

8. Глиняные формы перед заливкой металлом нагревались до 150–250°.

9. Полный цикл цветной металлообработки мог осуществляться весьма небольшим коллективом литейщиков.

10. Относительная простота процесса металлообработки после проведения всего сложного цикла подготовительных работ и с учётом профессиональных знаний и опыта литейщика, позволяла заниматься отливкой необходимых изделий в очаге любого жилища. Экспериментальные разработки, безусловно, не дают однозначных рецептов производства тех или иных древних изделий, но лишь позволяют более или менее объективно судить о процессе, опираясь на совокупность результатов различных методов исследований и полученного исследователем эмпирического опыта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глушков И.Г. Экспериментальное бронзолитейное производство // Проблемы художественного литья Сибири и Урала эпохи железа: Тез. докл. науч. конф. Омск, 1990. С. 36–39.
2. Сучков Д.И. Медь и её сплавы. М.: Металлургия, 1967. 247 с.
3. Абрамов Г.Г., Панченко Б.С. Справочник литейщика. М.: Высшая школа, 1991. 319 с.
4. Григорьев С.А., Русанов И.А. Экспериментальная реконструкция древнего металлургического производства // Аркаим. Челябинск: Каменный пояс, 1995. С. 157–158.
5. Вальков Д.В. Моделирование технологии металлообработки позднего бронзового века // Тезисы докладов XXV Урало-поволжской археологической студ. конф. Самара, 1994. С. 35–37.
6. Семёнов С.А. Первобытная техника. М., 1957.
7. Коробкова Г.Ф. Орудия труда и хозяйства неолитических племён Средней Азии // МИА. М., 1969. 158 с.
8. Эшер Р. Экспериментальная археология // Американский антрополог. М., 1961. Т. 63, № 4.
9. Агапов С.А., Кузьминых С.В., Терёхин С.А. Моделирование процессов древней плавки меди // Естественнонаучные методы в археологии. М., 1989. С. 100–109.
10. Терёхин С.А., Чиндина Л.А. Полевой эксперимент по обработке цветного металла // Актуальные проблемы методики западносибирской археологии. Новосибирск: Наука, 1989. С. 109–117.
11. Терёхин С.А. О технологии и времени изготовления ажурного кулайского литья // Проблемы хронологии и периодизации археологических памятников Южной Сибири. Барнаул, 1991. С. 142–143.
12. Терёхин С.А. Экспериментальные работы в области цветной металлообработки кулайцев // Археологические исследования в Среднем Приобье. Томск, 1993. С. 26–34.
13. Малинова Р., Малина Я. Прыжок в прошлое. М.: Мысль, 1988. 271 с.
14. Чиндина Л.А. Древняя история Среднего Приобья в эпоху железа. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1984. 256 с.
15. Грязнов М.П. История древних племён Верхней Оби по раскопкам близ с. Большая Речка. М.: Наука. 1965. 163 с.
16. Струмилин С.Г. История чёрной металлургии в СССР. М., 1954. Т. 1.
17. Чернецов В.Н. Бронза усть-полуйского времени // МИА. 1953. № 35. С. 121–178.
18. Старков В.Ф. Новые находки плоского литья в Нижнем Приобье // Проблемы археологии Урала и Сибири. М.: Наука, 1973. С. 208–219.
19. Морозов В.М. Отчёт об исследовании поселения раннего железного века Вачим 7 на одноимённой реке у г. Лянтор Сургутского района Тюменской области летом 1995 г. // Архив ИА РАН. Р-1.
20. Малахов И.В. Посмертные записки (1875–1885) // ЗУОЛЕ. 2-я серия. Т. XXVII. М.: Изд-во Том. ун-та, 1890. С. 11–20.
21. Миносян Р.С. Литьё бронзовых котлов у народов Евразии (VII в. до н.э. – V в. н.э.) // Археологический сборник. Л., 1986. № 27. С. 27.
22. Морозов В.М., Кондрашов А.Н. Результаты предварительного обследования поселения Амтуных-3 // Памятники Югры: вчера, сегодня, завтра. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. С. 72–85.
23. Миносян Р.С. Техника литья «чуждских образков» // Археологический сборник. Госэрмитаж. СПб., 1995. № 32. С. 119–127.

Статья представлена научной редакцией «История» 3 октября 2009 г.