

Литье

ПО ВЫЖИГАЕМЫМ МОДЕЛЯМ

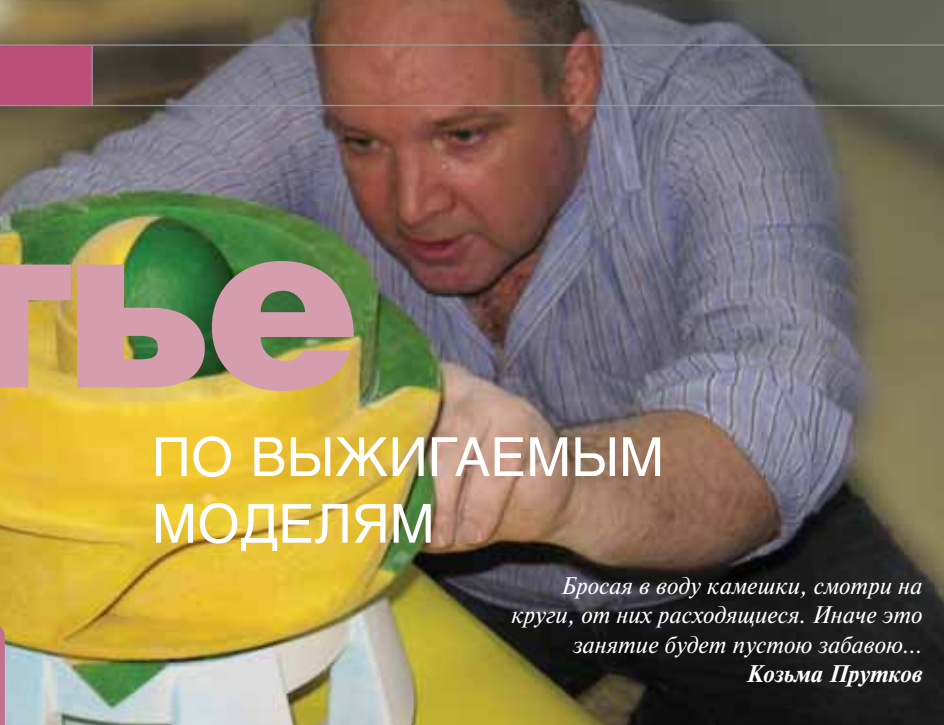
СТРАНИЦЫ истории

Литейное производство — так о нем отзывались в период развития машиностроения в СССР

Литейное производство, одна из отраслей промышленности, продукцией которой являются отливки, получаемые в литейных формах при заполнении их жидким сплавом. Годовой объем производства отливок в мире превышает 80 млн. т, из которых около 25% приходится на СССР (1972).

Методом литья изготавливается в среднем около 40% (по массе) заготовок деталей машин, а в некоторых отраслях машиностроения — например, в станкостроении — доля литых изделий составляет 80%. Из всех производимых литых заготовок машиностроение потребляет примерно 70%, металлургическая промышленность — 20%, производство санитарно-технического оборудования — 10%.

Литые детали используют в металлообрабатывающих станках, двигателях внутреннего сгорания, компрессорах, насосах, электродвигателях, паровых и гидравлических турбинах, прокатных станах, сельскохозяйственных машинах, автомобилях, тракторах, локомотивах, вагонах. Значительный объем литых изделий, особенно из цветных сплавов, потребляют авиация, кораблестроение, оборонная промышленность, приборостроение и т.д. Литейное производство предоставляет также водопроводные и канализационные трубы, ванны, радиаторы, отопительные котлы, печную арматуру и др. Широкое применение отливок объясняется тем, что их форму легче приблизить к конфигурации готовых изделий, чем форму заготовок, производимых другими способами — например, ковкой. Литьем можно получить заготовки различной сложности с небольшими припусками, что уменьшает расход металла, сокращает затраты на механическую обработку и, в конечном счете, снижает себестоимость изделий. Литьем могут быть изготовлены изделия практически любой массы — от нескольких граммов до сотен тонн, со стенками толщиной от десятых долей миллиметра до нескольких метров. Основные сплавы, из которых изготавливают отливки: серый, ковкий и легированный чугун (до 75% всех отливок по массе), углеродистые и легированные стали (свыше 20%) и цветные сплавы (медные, алюминиевые, цинковые и магниевые). Область применения литых деталей непрерывно расширяется.



Бросая в воду камешки, смотри на круги, от них расходящиеся. Иначе это занятие будет пустою забавою...

Козьма Прутков

Литье как один из способов обработки металлов известен человечеству очень давно. Когда-то в костер первобытного человека попал кусок медной руды и наблюдательный пращур обнаружил в остывших углях слиток металла — так начался медный (бронзовый) век человечества, пришедший на смену каменному. И если в те далекие времена литье было единственно доступной технологией обработки металла, то в наши дни для получения определенных изделий литье остается единственно возможным способом изготовления, когда другие методы либо технологически невозможны, либо неоправданно дороги.

У литья есть и свои неоспоримые преимущества, и очевидные недостатки, так что при выборе этого способа изготовления приходится искать компромисс между плюсами и минусами. У литейных деталей очень высок коэффициент использования материала (КИМ), нет волокон, перерезанных в процессе механической обработки, да и самой механической обработки требуется иногда совсем немного. Но при всех этих достоинствах механические свойства литых металлов и сплавов ниже, пористость — выше, возможно наличие внутренних дефектов и т.д.

Со времен первобытного человека технология литья значительно изменилась. Сегодня применяют литье металлов в земляные и песчаные формы, в металлические формы (литье в кокиль), центробежное литье, литье под давлением, литье по выжигаемым и выплавляемым моделям. О последнем способе формообразования поговорим несколько подробнее.

Суть метода литья металлов и сплавов по выжигаемым/выплавляемым моделям (пока не будем делать между ними

разницы) такова. Сначала из специального материала изготавливается копия будущего изделия с необходимыми припусками на усадку и последующую механическую обработку. Для выплавляемых моделей используют парафин, стеарин, воск или их смеси, а для выжигаемых применяют материалы, сгорающие на воздухе или в кислородной среде с малым образованием дыма и сухих остатков (как говорят профессионалы — с низкой зольностью). Затем на полученную модель — неважно, выжигаемую или выплавляемую — наносят в несколько слоев (до двадцати) керамические порошки с силикатным связующим, просушивая модель после нанесения каждого слоя. В результате вокруг модели образуется прочная жаростойкая оболочка — корка, в которую затем и будет произведена заливка расплавленного металла. Но перед заливкой модель необходимо каким-то образом удалить. Если модель выплавляемая, то корку вместе с моделью помещают в ванну с горячей водой, где парафиностеариновая смесь, температура плавления которой 60–70°C, плавится и благополучно покидает корку. С выжигаемыми моделями поступают следующим образом — форма помещается в печь и достаточно долгое время выдерживается при высокой температуре либо в воздушной среде, либо с подачей кислорода — для более полного и быстрого сгорания модели (потому, собственно, модель и называется выжигаемой). Для удаления продуктов горения форма продувается сжатым воздухом. Если позволяют условия, то перед заливкой форме дают остыть до температуры окружающего воздуха, а зольные остатки вымывают струей воды или выдувают. Правда, такое удаление сухих остатков не всегда возможно: при остывании до комнатной

температуры на корке может появиться паутина трещин.

По выжигаемым/выплавляемым моделям отливают и высокохудожественные предметы (например, статуэтки), и изделия машиностроения — компрессорные колеса насосов, перекачивающих устройств: в обоих случаях изготовление иными способами невозможно либо более затратно.

Остается один вопрос — откуда взялась выплавляемая или выжигаемая модель?! Податливость воска или парафина не очень-то упрощает процесс формирования литейной модели... Вот здесь-то и начинается самое интересное. Понятно, что моделей должно быть произведено ровно столько, сколько будет отлито изделий, и для формирования этих моделей готовят дополнительную оснастку, в которую модели и будут отлиты (мы говорим сейчас о выплавляемых моделях). Из алюминиевого сплава или из дерева изготавливается форма, причем проектируется она разборной, из сегментов — иногда это тот еще кубик Рубика, но только так можно извлечь выплавляемую модель. Процесс не быстрый, поэтому исследуются и альтернативные способы формирования выжигаемых/выплавляемых моделей.

С развитием технологий быстрого прототипирования (Rapid Prototyping — RP) возникла идея производить литейные модели на специальных установках — трехмерных принтерах. Не углубляясь в подробности различных технологий быстрого прототипирования, скажу только, что на сегодняшний день получили развитие и успешно применяются системы изготовления образцов по математическим моделям, полученным из CAD-систем. Используются различные методы выращивания и самые разнообразные материалы, однако не все они пригодны для изготовления выплавляемых/выжигаемых моделей (либо нелегко плавятся, либо плохо горят — дымно и с большим зольным остатком). На одной из выставок довелось видеть 3D-принтер, который послойно выращивал образец из воскоподобного материала, но (видимо, из-за особенностей текучести этого материала в жидком состоянии) качество выращенных моделей оставляло желать лучшего, к тому же модель вырастала в окружении поддержек из специального

Рис. 1. Математическая модель колеса, сформированная в пакете Unigraphics NX

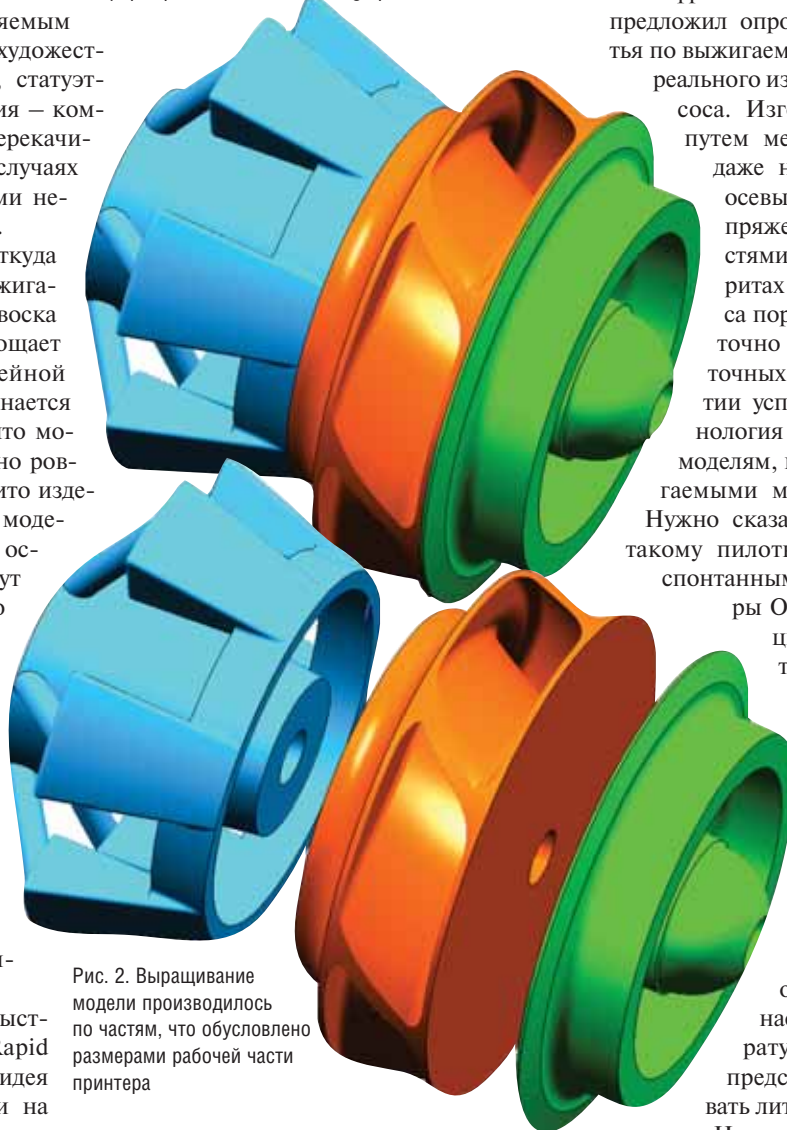


Рис. 2. Выращивание модели производилось по частям, что обусловлено размерами рабочей части принтера

жирного воска, которые по завершении формирования модели надлежало удалять.

Компания CSoft с начала 2006 года поставляет на российский рынок 3D-принтеры Contex — полноцветный DesignMate Sx и монохромный DesignMate Mx¹, сфера применения которых не ограничивается одним только изготовлением прототипов по математическим моделям CAD-систем. С использованием этого оборудования и специальных материалов возможно как изготовление выжигаемых моделей для литейного производства (Investment Casting), так и печать собственно литейных песчаных форм (!) для прямого литья цветных металлов и ферронесодержащих сплавов (технология Direct Cast). Обе технологии были опробованы на образцах, предоставленных заказчиками CSoft, о чем и позволяйте рассказать.

Один из заказчиков, ФГУП "ОКБМ им. Африкантова" (Нижний Новгород), предложил опробовать технологию литья по выжигаемым моделям на примере реального изделия — колеса турбонасоса. Изготовление этой детали путем механической обработки даже на современных многоосевых фрезерных станках сопряжено с немалыми сложностями. Причина тут и в габаритах изделия (диаметр колеса порядка 300 мм), и в достаточно сложной форме лопаточных каналов. На предприятии успешно применяется технология литья по выплавляемым моделям, но опыт работы с выжигаемыми моделями был невелик. Нужно сказать, что приглашение к такому пилотному проекту не было спонтанным: металлурги и инженеры ОКБМ совместно со специалистами CSoft достаточно подробно исследовали процессы заполнения формы для отливки колеса с применением пакета LVMFlow, который позволяет оптимизировать конструкцию отливки и литниковой системы еще до изготовления опытных отливок и модельной оснастки, подобрать температуру заливки металла, предсказать и минимизировать литейные дефекты.

На рис. 1 показана исходная математическая модель изделия, сформированная в пакете Unigraphics NX и построенная с учетом технологических припусков, с рассчитанными прибылями и литниковой системой. Габариты рабочей зоны принтера (350x250x200 мм) не позволяли вырастить колесо целиком, поэтому средствами САПР изделие порезали на части, показанные на рис. 2 разными цветами. От идеи сделать модель тонкостенной ради экономии расходных материалов решено было отказаться, так как в этом случае пришлось бы позаботиться об извлечении порошка из замкнутых полостей, да и габариты изделия диктовали достаточно высокие механические свойства модели. После выращивания и просушивания составные части склеивались специальным клеем. Еще одна особенность технологии трехмерной печати — все острые кромки лопаток скруглили еще в

¹Получить общее представление о 3D-принтерах Contex можно ознакомившись, например, со статьей Й. Эрландсена "Новое измерение ГИС: Contex 3D увеличивает точность и эффективность макетирования" (CADmaster № 2/2006, с. 98-100).



Рис. 3. После выращивания две части модели соединяются клеевым составом

математической модели радиусами 0,3-0,5 мм, чтобы предохранить их от выкрашивания при последующей пропитке воском и в процессе производства корки.

Несколько слов о порошке, из которого выращена модель. Компания Contex (точнее, ее подразделение Z-Corporation) предлагает два вида расходных материалов для производства выжигаемых моделей: zp14 и zp15e, оба на основе целлюлозы (на вид – смесь крахмала и пшеничной муки). Предпочтителен порошок zp14, дающий меньшую зольность в процессе выжигания, но его использование возможно только на монохромных принтерах Contex DesignMate Mx. Конечно, цвет выжигаемых моделей не имеет никакого значения, но в силу конструктивных особенностей принтеров применение порошка zp14 на полноцветных DesignMate Sx невозможно, а монохромные принтеры имеют заметно меньшие размеры рабочей зоны (250x250x200 мм). Порошок zp15e с соответствующим связующим преимущественно ориентирован на выпуск эластичных, резиноподобных объектов (модели обуви, резинотехнических изделий и т.п.), менее пригоден для производства выжигаемых моделей, но применим для принтеров Sx.

Процесс печати представляет собой послойное пропитывание (печать) равномерно наносимых слоев порошка специальным связующим. Эта процедура уже была подробно представлена в нашем журнале; добавим лишь, что в нашем случае для выращивания всех составных частей модели потребовалось около 10 часов. Печать производилась в основном ночью: принтер не требует постоянного пристального внимания. После печати требуется некоторое время для сушки, затем в специальной камере удаляются излишки порошка – и модель готова к склейке.

На рис. 3 – две части модели (собственно колесо и литниковая система с прибыльями) перед склеиванием. Здесь же можно видеть специальное отверстие под деревянную державку, на которой модель была закреплена для формования корки.



Рис. 4-5. Окончательный вид корки перед выжиганием модели



Рис. 6. Корка в опоке непосредственно после выжигания. Следующий этап – продувка



Рис. 7. Отливка. Правильно рассчитанная схема размещения прибылей и литников позволила избежать дефектов литья



Рис. 8. Отливка

После склейки модель покинула стены компании CSoft и отправилась в ОКБМ, где продолжились работы по формированию корки и была произведена заливка материала. Для получения более качественной поверхности отливки и лучших условий удаления материала модель перед формированием корки на несколько минут погрузили в расплавленный парафин.

Формирование корки (рис. 4-5) — отлаженная технологическая процедура. Смешанные с эмульсией специальные порошки различной зернистости наносятся на модель в несколько слоев, каждый слой просушивается.

Корка помещается в песчаную опоку (рис. 6) — своего рода температурный буфер, который позволяет сохранить тепло формы при ее продувании после выжигания модели. Далее вся конструкция на довольно длительное время (в нашем случае — на 40 часов) отправляется в печь, где происходит выгорание материала выжигаемой модели.

Завершающий этап, продувка корки сжатым воздухом — процедура весьма ответственная: оставшиеся в форме обуглившиеся остатки модели могут свести на нет все труды. Конечно, все будет проще, если условия позволяют без риска разрушения или растрескивания корки охладить форму до комнатной температуры с последующим вымыванием остатков материала. Но в данном случае охлаждение формы было вариан-



Рис. 9. Удалены прибыли и литники. Обработаны посадочные поверхности

том совершенно неприемлемым, поэтому сразу же после продувки была произведена заливка в горячую корку.

После заливки форма остывала в течение суток, а затем корку безжалостно раскололи и на свет была извлечена отливка — в точности повторяющая чертания выжигаемой модели. Литье по выжигаемым/выплавляемым моделям иногда называют литьем с возможностью копирования отпечатков пальцев модельщика. И правда, отливка воспро-

извела все мельчайшие детали — клеевые швы и даже те самые скругления кромок радиусом 0,5 мм (рис. 7-8).

Результаты заливки подтвердили расчеты, предварительно выполненные в пакете LVMFlow: дефектов на наиболее ответственных лопаточных поверхностях не обнаружилось.

После отрезки литников и прибылей, а также предварительной механической обработки изделие приобрело вид, показанный на рис. 9.

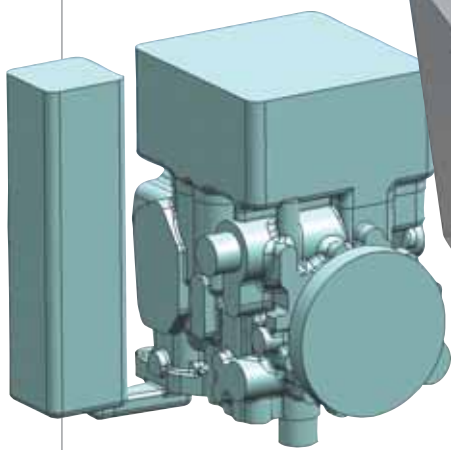


Рис. 10. Математическая модель изделия со стояком и прибыльями

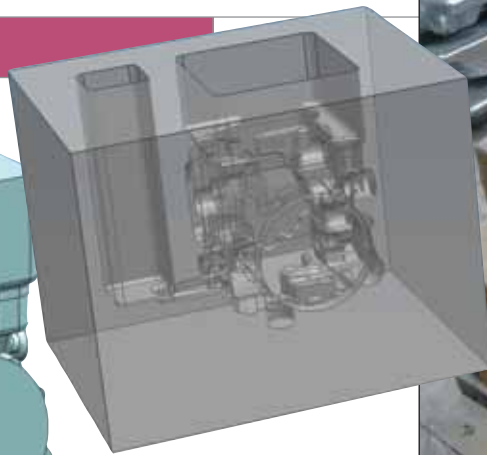


Рис. 11. Математическая модель формы, полученная "вычитанием" модели изделия из блока



Рис. 12. Для безопасности модель помещена в металлическую опоку и засыпана песком

Несколько слов о другом проекте – изготовлении литых деталей по технологии Direct Cast прямым литьем алюминиевых сплавов в формы, подготовленные на 3D-принтере Contex DesignMate Sx. Суть технологии такова: из порошка

zр501 (на вид – обычный кварцевый песок) со специальным связующим выращивается литьевая форма. Перед заливкой форма 6-8 часов просушивается при определенной температуре после чего заполняется расплавом алюминиевого

(или другого цветного, не содержащего железа) сплава.

Исходные данные содержались в математической модели изделия с прибылью и стояком, которая была предоставлена МПО им. Румянцева (рис. 10). И с-

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Из истории развития художественного литья

История развития цивилизации неразрывно связана с освоением материалов. В этом плане трудно переоценить роль металла. Американский этнолог Генри Льюис Морган писал, что когда варвар научился получать и применять металл, тогда "девять десятых борьбы за цивилизацию было выиграно". Появление орудий из металла способствовало не только техническому прогрессу (в земледелии, строительстве, ремеслах), но и социальному: образование первых государств совпадает с началом бронзового века.

С металлом первобытный человек познакомился несколько тысячелетий тому назад. Имеются сведения, что примерно за 92 века до н.э. народности, населявшие территорию Анатолии (азиатскую часть современной Турции), использовали медь, найденную в самородном виде. Золотые изделия появились примерно за 60 веков до н.э., а изделия из метеоритного железа – примерно в XXX веке до н.э.

Но для того чтобы получать отливки, человек должен был научиться плавить металл. На это потребовалось 47 веков. Самые древние отливки, обнаруженные археологами на территории Анатолии, Месопотамии и Ирана, датируются XIV веком до н.э. Спустя несколько веков технология литья была освоена народами, населявшими Кавказ, Северную Африку, Европу.

В истории развития литейной технологии можно выделить три периода:

Первый (от появления первых отливок до XIV века н.э.) – период примитивной технологии, индивидуальное производство (предметы

быта, культура, оружие, украшения). **Второй** (XIV – середина XIX в.) – период ремесленной технологии. Литье превратилось в самостоятельное ремесло, достигла совершенства ручная формовка.

Третий (середина XIX – конец XX в.) – период промышленной технологии. Организовано механизированное массовое производство самых разнообразных отливок.

Такое деление условно, поскольку на протяжении каждого этапа искусство литья переживало взлеты и падения. Еще в древности создавались уникальные литые изделия. Так, технология литья по выплавляемым моделям была известна еще в Древнем Шумере (XXVI век до н.э.), Древней Индии (XXX век до н.э.), Древней Греции и Этрурии (VI век до н.э.). Владели ею и древние племена, населявшие экваториальную Африку (IV-XII века н.э.). Две с половиной тысячи лет назад скифы применяли литье в кокиль. Греческие литые бронзовые украшения по сей день считаются образцами совершенства. Однако с исчезновением культур угасало и искусство литья. Кроме того, древние ремесленники старались держать особенности технологии в секрете, передавали их по наследству, и последний в династии нередко уносил с собой в могилу секреты ремесла.

Характерным примером служит булатная сталь. Древнеиндийские мастера выплавляли ее еще за 13 веков до нашей эры, но затем секрет булата был утрачен. Позднее булатные клинки изготавливали в Персии, Сирии, Египте, а в средние века – в Дамаске, однако с течением времени технология вновь была утеряна. Только в середине XIX века рус-

ский металлург П.П. Аносов раскрыл этот секрет, что позволило воспроизводить уникальные изделия из булатной стали.

Искусство литья в древности

Первоначально для литья использовали формы из влажной глины, выдавливая в этих формах отпечаток модели. Позднее появились каменные формы – сначала открытые, а затем и закрытые.

Первым литейным материалом стала бронза. Технология получения бронзы путем сплавления меди и олова была известна в Древнем Египте, Ассирии и Вавилонии в третьем тысячелетии до нашей эры. В древнешумерском заклинии огня есть такие слова: "Меди и олова плавитель ты...". Египтяне обозначали медь и бронзу одним иероглифом, но в первом случае к нему добавляли значок, который переводится как "настоящая", а во втором – "искусственно приготовленная". В древнеегипетских папирусах и вавилонских глиняных табличках II и III тысячелетий до нашей эры бронза упоминается как заурядный материал. Число обнаруженных археологами древних изделий из чистой меди и чистого олова ничтожно по сравнению с числом бронзовых изделий.

Древние мастера в основном отливали оружие и орудия труда: копья, топоры, ножи, серпы, мотыги, рыболовные крючки. Тем не менее найденные при раскопках литые украшения свидетельствуют, что изготовившие их люди были не только умелыми ремесленниками, но и художниками. Примером служит золотая голова быка из Ура (Древний Шумер), отлитая в XXVI веке до н.э.



По замечанию А.М. Петриченко, "ближе к художественным отливкам, как по оформлению, так и по приемам литья, были литые мечи". Вряд ли можно найти хоть один народ, который владел искусством литья и не изготавливал бы бронзовых мечей. Найденные в раскопках древние мечи, как правило, богато инкрустированы золотом и серебром. Их рукояти украшены замысловатым узором, изображениями животных. Литейщики Древней Индии уже в третьем тысячелетии до нашей эры применяли стержни для изготовления пустотелых отливок. К этому времени относится и появление технологии литья по восковой выплавляемой модели, которая дала толчок развитию художественного литья.

Древнекитайские мастера в первую очередь освоили литье из чугуна (примерно в VI веке до н.э.). Добавляя в шихту фосфат железа, китайцы научились делать чрезвычайно тонкие отливки. Получалась фосфористая эвтектика (от греч. eutektos – легко плавящийся), температура плавления которой была примерно на 100° С ниже, чем у бронзы. Самой большой чугунной художественной отливкой считается Лев в Цзянь-Чжоу (974 г. н.э.). Его высота – около 6,1 м, длина – 5,5 м.



Рис. 13. Произведена заливка алюминиевого сплава



Рис. 14. Изделие после извлечения из формы

ли в технологии выжигаемых моделей выращивается позитивный образец, то для технологии прямого литья модель изделия при помощи булевых операций была "вычтена" из прямоугольного блока будущей литейной формы (рис. 11).

По соображениям безопасности отпечатанную и просушенную форму по-

местили в металлическую опоку и засыпали песком (рис. 12). Металл температурой 720 градусов заливается при незначительном дымлении формы (рис. 13-14).

*Владимир Банкрутенко,
Николай Гагарин,
Кирилл Комиссаров,*

*Александр Поярко,
Алексей Лазарев
ФГУП "ОКБМ им. Африкантова"
Юрий Чугишев
CSoft
Тел.: (495) 913-2222
E-mail: jura@csoft.ru*

Бронза в Древнем Китае появилась позднее, чем во многих других странах, – лишь во II тысячелетии до н.э. Наивысшего расцвета технология бронзового литья достигает в XII-VIII веках до н.э., о чем свидетельствуют великоленные бронзовые сосуды, применявшиеся в быту и при религиозных церемониях. Начиная с середины I тысячелетия искусство литья приходит в упадок. Литые изготавливают только монеты.

В странах Древнего Востока высокого совершенства достигло литье скульптур.

В Индии отправным моментом стало распространение буддизма. Еще в I веке н.э. появились скульптурные изображения Будды в человеческом подобии. Позднее популярнейшим божеством стал Шива. В его образе особенно полно отражены принципы индийской эстетики и национальные приемы художественного творчества. Начиная с X века предпочтение отдавалось танцующему Шиве, который символизирует движение, круговращение мира.

Китайские литые скульптурные изображения Будды, датированные I веком н.э., отличаются сложностью композиции, тщательностью обработки. Для китайского стиля характерно изготовление больших отливок реальных и мифических животных, устанавливаемых на постаментах у входа во дворцы и храмы.

Высоким мастерством отличались скифские литейщики (VII-III век до н.э.). Подтверждением тому могут служить бронзовые котлы для варки пищи, незаменимые при кочевом образе жизни. Котлы украшали литыми узорами, фигурами козлов, растений, культовы-

ми знаками. Скифы применяли стрелы с гранеными бронзовыми наконечниками, которые отливались в металлических формах – кокилях. Позже технология литья в кокиль была утрачена и возродилась лишь в XVII веке.

Интересной страницей в истории развития литейной технологии является освоение литья древними племенами Центральной Африки. Зарождение металлургии здесь имело свои особенности. В джунглях и саваннах экваториальной Африки почти нет залежей меди. Век металла тут начинался с железа.

При археологических раскопках в Центральной Африке были обнаружены плавильные печи и шлак. Это дало основание предположить, что примитивная выплавка железа велась здесь уже в самом начале II тысячелетия до н.э.

В то время, когда в Древнем Египте производили изделия из бронзы, народы, населявшие территорию современной Нигерии, искусно изготовляли из железа орудия труда, оружие и даже складные стулья. Для литья гвоздей, бус и других предметов африканские литейщики применяли специальные формы.

Систематическая добычка меди в Центральной Африке началась довольно поздно. Мастера народа сао, жившего на берегах озера Чад в IV-XII веках, отливали из бронзы и меди статуэтки людей, кулоны в виде ящериц, уток, слонов и крокодилов, браслеты, подвески. При раскопках на территории Восточной Нигерии в погребении полутьсячелетней давности были обнаружены художественные отливки из бронзы в виде черепа леопарда и рукоятки

посоха, увенчанной фигурой всадника, маски людей, животных, различные украшения, бронзовые сосуды в форме раковин.

Скульптуры африканских мастеров изготавливались методом литья по выплавляемым моделям, причем толщина стенок не превышала 2-3 мм. Это свидетельствует о высоком мастерстве литейщиков. В XIII веке до н.э. на Балканском и Апеннинском полуостровах Средиземноморья зарождаются новые очаги культуры, которым суждено было сыграть огромную роль в истории Западной Европы. Древние эллины и этруски переняли лучшие достижения древнеегипетской, крито-микенской культур и культуры Междуречья. Расцвет Древней Эллады и Этрурии приходится на конец бронзового века и начало железного. Литейщикам не нужно было открывать способы обработки металлов, и всё свое мастерство они направили на совершенствование технологии и декоративных приемов.

Древнегреческие мастера умело использовали технологию литья по восковым моделям. Например, при изготовлении мечей восковые модели применяли для нанесения рисунка или получения биметаллических отливок. Древнегреческие литые бронзовые украшения, оружие, светильники являются собой шедевры декоративно-прикладного искусства, но подлинной вершиной следует признать литые скульптуры из бронзы.

Сначала эллины находились под сильным влиянием египетских канонов. Их скульптуры отличала неподвижность форм, условное изображение движения, "архаичская" улыбка, грубое исполнение

отливки. Но на рубеже VI-V веков до н.э. ваятели научились создавать близкие к жизни образы, реалистичнее изображать человеческую фигуру, ее движение. Скульптура периода высокой классики выражает возвышенные идеалы, представления о гражданской доблести, о духовном, нравственном и физическом совершенстве свободного эллина, о красоте и гармонии человеческого тела. Прекрасные бронзовые статуи обнаруживают не только тонкий художественный вкус древних греков, но и значительное усовершенствование способов литья. Создание крупных отливок было не под силу одним лишь скульпторам. Для этого требовались литейщики-ваятели, высокоразвитое литейное производство и филигранная техника литья.

Как и в Древней Греции, в Древней Этрурии высокого расцвета достигла скульптура. Своим образом этрусского искусства проявляется в реализме, в умении подчеркнуть детали, в сочетании простоты и изысканности. Одним из высших достижений художников-этрусков считается бронзовая статуя химеры, датированная V веком до н.э. Восхищение вызывают не только художественные достоинства скульптуры, но и мастерство исполнения отливки.

Западноевропейское скульптурное литье многим обязано классическим работам эллинских и этрусских мастеров.

Литература

Магницкий О.Н., Пирайнен В.Ю. Художественное литье. – СПб., Политехника, 1996.

По материалам сайтов <http://lendecor.info> и <http://www.uzcm.ru>