



Владимир Дорошенко,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник
Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины

Литье металлов по ледяным моделям

Поиск экологически безвредных процессов литья неизбежно приводит к применению льда, в частности, для разовых литейных моделей. Процесс для получения вакуумируемых форм состоит в изготовлении из льда модели металлоотливки, формование модели в песчаную форму, таяние модели и освобождение от воды полости формы, а затем заливки в эту полость металла, который после охлаждения образует отливку. В литейных цехах по традиционным технологиям для таких моделей используют органические материалы: восковые и парафино-стеариновые смеси, пенопласт.

ЭТОТ ЭКОЛОГИЧНЫЙ ЛЕД

Задачу восстановления и модернизации машиностроения, в частности станкостроения, не решить без новых технологий. Литейное производство для этих отраслей составляет основу заготовительной базы, а объемы литья находятся в пропорциональной зависимости от объемов производства машин. Масса литых деталей в автомобилях, тракторах, комбайнах, самолетах и других машинах составляет 30...50 %, а в металлорежущих станках и кузнечнопрессовом оборудовании доходит до 80 % массы и до 20 % стоимости изделия. Кроме того, литейные про-



цессы загрязняют экосистему отходами. Особенно экологически небезопасны процессы с использованием синтетических смол и других органических связующих, которые дают до 70 % загрязнений природной среды от литейных цехов.

Применение криотехнологии для получения металлоотливок в песчаных формах позволяет создать малоотходные и безотходные процессы, в которых удаление органических материалов из технологии формовки предотвращает загрязнение окружающей среды, а высокие нормы ресурсосбережения достигаются повторным использованием формовочных материалов. Поскольку с каждым годом в мире неуклонно растет производство отливок по разовым моделям, которое дает точное литье, экономию металла и наибольшее приближение отливки к конечной детали, то литье по моделям из замороженной воды относится именно к такого рода специальным способам литья.

Исключение или минимальное применение органических модельно-формовочных материалов, в частности связующих, мотивировало концепцию получения оболочковых песчаных форм по ледяным моделям. Использование льда в качестве конструктивного материала разовых моделей вписывается в **экологическую идею применения саморазрушающихся после выполнения своих функций материалов**, а процесс формовки приближается к безвредному обмену веществ с окружающей средой. Агрегатные переходы воды (из жидкого в твердое при замораживании модели, опять в жидкое — таяние модели при освобождении полости формы, а затем испарение при сушке увлажненной формы) при этом в какой-то мере **подобны кругообороту воды в природе**. Для ряда процессов с ледяными моделями вода на 30...90 % и сухой песок формы на 80...90 % (за вычетом песка, участвующего в образовании оболочки путем фильтрации — увлажнения), может использоваться многократно.

В разработанной нами разновидности вакуумной формовки по ледяным моделям (упакованным в синтетическую пленку) вода не попадает в песок формы и практически полностью может использоваться повторно наряду с многократным применением песка. Такая технология относится к крио-вакуумным процессам, в которых сухой песок

формы без связующего упрочняется под воздействием вакуума при подключении литейных форм трубопроводами к вакуум-насосу. При этом литье по ледяным моделям совмещается с вакуумно-пленочной формовкой (ВПФ), которая относится к наиболее экологически безопасным способам песчаной формовки и за рубежом за последние годы перешла из разряда спецвидов литья в основные способы производства отливок в разовые песчаные формы. При ВПФ газы, выделяющиеся при заливке расплавленного металла в литейную форму, практически полностью откачиваются вакуум-насосом из формы, а отсутствие связующего в сухом песке снижает до минимума такое газовыделение.

Экологические преимущества литья по ледяным моделям очевидны при замене ими традиционно применяемых выплавляемых чаще всего парафино-стеариновых моделей (способ ЛВМ) или газифицируемых (выжигаемых) моделей из пенополистирола при заливке металлом литейной формы (способ ЛГМ). При ЛВМ расход модельного состава на тонну годных отливок составляет 40...90 кг при ~10 % потерь, большая часть из которых происходит при прокаливании в термических печах оболочковых форм при высоких температурах и выгорании не удаленного из них модельного материала. Это ведет к дымовыделению в литейном цеху, требует установки вытяжной вентиляции и очистки газов, выбрасываемых в атмосферу.

Что касается использования пенополистирола для моделей, то его расход составляет 6...6,5 кг на тонну отливок, и он разрушается при высокотемпературной деструкции. При горении без образования твердого остатка 1 м³ пенополистирола плотностью 25 кг/м³ выделяет до 267 м³ дыма с наличием токсичных продуктов сгорания, главным образом СО (ОСТ 301-05-202-92Е). Как известно, при горении пенополистирола возможно выделения фосгена, поэтому его отходы не подлежат сжиганию подобно углю, дровам и т. п.

Применение пенополистирола по способу ЛГМ в настоящее время обязательно сочетается с вакуумированием формы, откачиванием продуктов его деструкции и обезвреживанием их путем каталитического дожигания (до полного разложения углеводов до СО₂ и паров Н₂О)



перед выбросом в атмосферу. Однако, такие установки дожига не дешевы, и для мелких участков их могут не устанавливать, а литейные формы для экономии электроэнергии нередко вакуумируют короткий период времени, и часть сконденсированного в песке полистирола может разлагаться в цехе от тепла отливки. Это, как и при технологии ЛВМ, требует применения энергоемкой вытяжной вентиляции и очистки газов, но в реальных литейных цехах часто не освобождает от полного удаления вредных газов из рабочей зоны.

ТРИ ВАРИАНТА «ЛЕДЯНОЙ» ТЕХНОЛОГИИ

С учетом экологического аспекта модернизации литейных процессов в настоящее время ФТИМС НАН Украины патентует три разновидности способа изготовления по разовым ледяным моделям песчаных оболочковых форм из сыпучего формовочного материала. При этом оболочка образуется путем затвердевания в ней самотвердеющей композиции при введении в контакт отвердителя со связующим в процессе фильтрации талой жидкости модели в поры наполнителя формы. 1-й вариант: ледяная модель служит носителем отвердителя, а облицовочный слой песчаного наполнителя — связующего. Во 2-м — ледяная модель служит носителем связующего, а сухая песчаная облицовочная смесь содержит отвердитель. Наиболее экологически благоприятный 3-й вариант: модель замораживается из чистой воды, которая не вступает в реакции отверждения формовочной смеси с добавками реагентов отвердителя и связующего, но без увлажнения водой эти реакции не идут. Такие процессы получения формы с отверждением смеси в процессе фильтрации связующе-отверждающих реагентов относятся к разновидностям фильтрационной формовки.

Во всех трех способах мы подбирали составы связующих композиций с максимальной скоростью твердения, зачастую выискивая в технической литературе отвергнутые составы холоднотвердеющих песчаных смесей (ХТС) по причине их малой «живучести». При этом из более 100 известных связующих для формовочных смесей большинство пригодно для создания связующих композиций, отверждаемых в

процессе фильтрации продуктами таяния ледяных моделей песчаной среды, поскольку многие реагенты могут быть заморожены в водном растворе, водной эмульсии или смеси в составе материала модели. А другие реагенты, создающие с ними химически твердеющую композицию, могут в порошковом или плакированном виде быть введены в сыпучую сухую смесь, в частности, на основе кварцевого песка.

ЛЕДЯНЫЕ МОДЕЛИ

При изготовлении оболочковой формы путем засыпки песчаной смеси в контейнер с ледяной моделью, виброуплотнения, таяния модели и пропитки этой смеси получали песчаную корку толщиной 4...8 мм и более. Сыпучую смесь, в которую не проникла влага, высыпали из формы и использовали повторно. При этом в составе оболочки находится не более ~0,4 % связующего от массы песка в контейнере, что в несколько раз меньше, чем в традиционных формах из ХТС. Для исследований брали недорогие неорганические связующие.

Составы ледяных моделей, в которых один реагент связующей композиции находится в модели, а другой — в окружающей ее песчаной смеси, показали достаточно хорошую технологичность получения оболочковых форм путем пропитки (фильтрации) этой смеси водным составом от тающей модели. Например, для ледяных моделей из водного раствора жидкого стекла плотностью до 1,08 г/см³ использовали песчаную смесь с добавлением быстротвердеющего цемента, в процессе пропитки которой твердение получаемой оболочки (толщиной на глубину пропитки) от начала таяния модели (модельного блока) массой 0,2...0,5 кг составляло 6...10 минут. После расплавления остаток модельной композиции, не пропитавший окружающий песок, чаще всего выливали из затвердевшей оболочки, а оболочковую форму направляли на подсушку, либо отрабатывали заливку металлом в сухом наполнителе с вакуумированием формы.

Особенно недорогими являются оболочковые формы, получаемые с гидратационными вяжущими, которые в свою очередь имеют высокие регенерационные свойства по сравнению, например, с жидким стеклом. Такие кри-



сталлогидраты, как цемент, гипс и металлофосфаты в большом разнообразии марок и химических составов проходят цикл исследований в качестве связующих для изготовления оболочковых песчаных форм по разовым ледяным моделям с использованием жидкости от таяния моделей для гидратации и твердения этих связующих.

Опытно-промышленные работы показали, что наиболее подходят для этой цели быстротвердеющие цементы, однако гипсовые вяжущие, хоть и имеют в 1,5...2 раза большее время схватывания и твердения, также дают качественную поверхность и достаточную прочность оболочковой формы для манипуляций с оболочкой и последующего литья. При этом с момента схватывания до момента заливки металлом обеспечивается постоянное повышение прочности смеси, твердеющей в объеме, полученном в результате фильтрации талой жидкостью модели. Объемное твердение более стойко к трещинам, чем послойное. Затвердевшая оболочка либо извлекается из контейнерной формы и отправляется на тепловую обработку и/или склад, либо заливается в сухой песчаной смеси. Разумеется, кроме скорости твердения составы оболочковых форм следует подобрать по огнеупорности, противопригарным и другим свойствам, требуемым для получения качественной отливки.

ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ

Основная проблема разработки технологии для промышленного применения была связана с ответом на вопрос, как вокруг разупрочняющейся тающей модели упрочнить сыпучую формовочную смесь с качественной стабильной поверхностью полости формы. Причем сначала или практически одновременно одно твердое тело разрушается, а другое сыпучее упрочняется в результате фильтрации продуктов разрушения первого и запуска механизма химического твердения второго. Кроме того, с целью экономии материалов ледяную модель в идеальном случае (желательном для достижения) представляли как пустотелую стеклянную елочную игрушку, а песчаную оболочковую форму — как яичную скорлупу. Первоначально исследова-

ли вариант, при котором песок формы упрочняется физическим способом — перепадом газового давления на поверхности полости формы, когда в полости — давление газа близкое к атмосферному или залитый металл, а в толще песка (порах песчаной среды) — разрежение. Оснастку для производства ледяных моделей и формовки использовали, заимствовав ее от ЛГМ-процесса.

Однако стабильно обеспечить атмосферное давление в зазоре (образуемой полости) между тающей моделью и стенкой формы по всей поверхности не всегда возможно, увлажняющийся слой формы трудно загерметизировать, и вакуумирование формы вызывает прокачку (принудительную фильтрацию) газов сквозь влажный песчаный слой, образуя в нем трещины и каверны в местах наименьшего сопротивления по путям движения потоков воздуха. Такое же образование каверны свойственно форме при ВПФ в месте прокола синтетической пленки за счет выноса потоком воздуха (подобно пневмотранспорту) мелких зерен песка вглубь стенки формы.

Вторым направлением исследований технологии стабильного сохранения целостности формы при таянии модели было связано с заменой газа на жидкость, оказывающую давление на поверхность полости формы. Эту жидкость подавали через полый стояк или выпор, как правило, в виде жидкой модельной композиции с добавками связующего. Чаще использовали подогретую жидкость в качестве теплоносителя для ускорения плавления модели. А герметизирующие свойства этой жидкости проектировали как правило по аналогии с вызывающими явление кольматации (закупоривания пор) традиционно применяемыми в технологии бурения скважин буровыми растворами, которые своим давлением стабильно удерживают стенки скважин, включая наклонные и горизонтальные.

Однако этот вариант технологии усложняет формовку, задействует дополнительную жидкость с герметизирующими или связующими материалами, требует соблюдать точный невысокий перепад давлений у поверхности полости формы, иначе переувлажняет песчаную смесь, что увеличивает как толщину пропитанного влагой песчаного слоя, так и продолжительность последующей сушки. А местное переувлажнение нередко ведет к оплыванию —



деформированию вертикальных и потолочных песчаных стенок. Кроме того, явление кольматации часто создает слой покрытия на поверхности полости формы, влияющее на точность отливки.

Наиболее перспективным оказался способ упрочнения оболочковой формы путем образования адгезионно-когезионного комплекса с использованием явления капиллярного транспорта. Этому предшествовали исследования по созданию способов нанесения порошковых противопопригарных красок на поверхность ледяной модели. Применение такого вида сухого покрытия основывалось на том, что при температуре близкой к точке плавления льда его поверхность является квазижидкостью с хаотичным расположением молекул воды в квазижидком слое, но одновременно с упорядоченной (по сравнению с кристаллом) ориентацией диполей в поверхностном слое льда. Такая ориентация диполей создает на поверхности льда электрический заряд, который способен удерживать на ледяных моделях слой насыпаемой на них порошковой краски толщиной 0,5...0,8 мм.

Кроме того, по аналогии с работами В. М. Грузмана, мы утолщали этот слой покрытия на поверхности ледяной модели до песчаной оболочки 2- или 3-кратным нанесением порошковых материалов (обсыпкой с самопроизвольным удержанием на подложке) с поочередным помещением модели в увлажненную атмосферу, из которой на поверхности порошкового слоя осаждалась влага при температуре этой поверхности ниже точки росы или точки инея. При 20 °С воздух с влажностью 30 %, 60 % и 90 % имеет соответственно точку росы (°С) 1,9; 12,0; 18,3. Такой разделительный тонкий слой влаги или инея позволял получать оболочку толщиной до 2...4 мм, показанную на рис. 1 на примере формовки блоков ледяных моделей «звездочка» конвейера.

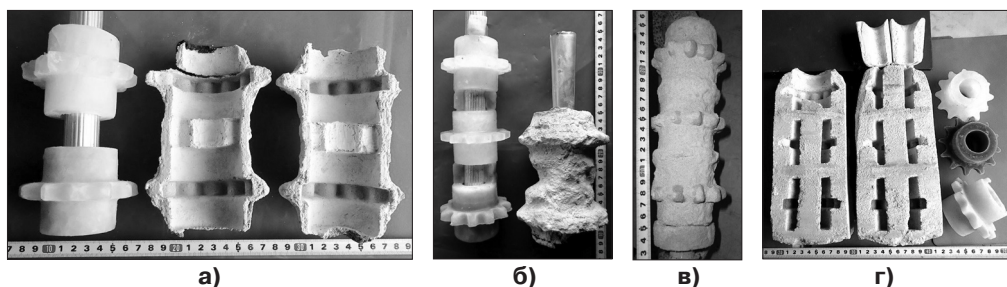
В качестве порошковых покрытий наносили сухие смеси, состоящие в различных пропорциях из мелких фракций формовочного песка, порошков маршаллита, дистенсиллиманита, гипса и цемента. На рис. 1а двухместную форму получали 3-кратным нанесением порошковых материалов, установкой ее в емкость, куда стекала вода от тающих моделей, и последующей сушкой, а затем форму и распилили пополам для контроля качества поверхности. На рис. 1б, в — внешний вид подобных форм.

На рис. 1г показана трехместная распиленная форма, полученная следующим способом. На модельный блок (1б) нанесли порошковое покрытие в течение 3...5 мин. до состояния (1в), затем его засыпали в контейнере сухой смесью формовочного песка с содержанием гипса 20...25 % (по массе) и эту смесь виброуплотнили 1,5...2,0 мин. Модели таяли и впитывались в стенки формы, на второй день форму подсушили 1 ч. при 150...170° С и затем распилили. Виброуплотнение песчаной смеси вокруг блока ледяных моделей уплотнило пластичное порошковое покрытие и прижало его к моделям, что улучшило качество поверхности полости формы. Последующее таяние моделей, фильтрация жидкости в поры смеси с одновременным схватыванием и твердением гипсо-песчаной смеси по мере распространения в ней жидкости обеспечивало получение формы, показанной на рис. 1 г. Для заливки этой формы сверху на нее устанавливали воронку для стояка и трубку для выпора. Для стояка оболочковой формы на рис. 1б применяли трубку из фольги при засыпании вокруг этой формы и стояка опорного наполнителя в контейнере.

Другие примеры ледяных моделей, песчаных оболочек, отливок из черных и цветных металлов по ледяным моделям показаны на рис. 2.

Рис. 1

Этапы формовки, ледяные модели и оболочковые формы из порошкового покрытия



а — в): а) блок из двух моделей и распиленная форма, б) блок из трех моделей и 2-местная форма, в) 3-местная форма, г) распиленная 3-местная форма, полученная в контейнере, и отдельные ледяные модели разной окраски (здесь и далее цветные модели получены добавлением чернил в замораживаемую воду)



Рис. 2

Ледяные модели, песчаные оболочки, отливки из черных и цветных металлов по ледяным моделям.



Таким образом, за счет использования таких специфических свойств льда, как электростатический заряд на его поверхности наносят на модель первый сухой формовочный слой, а затем последовательно следующие слои с частичным упрочнением их путем увлажнения конденсированием от действия холода, передающегося от ледяной модели. Это дает достаточной прочности оболочку на модели (рис. 1в) для удержания стабильной стенки полости формы. Затем модель с этой оболочкой засыпают смесью в контейнере, и упрочняют оболочку со слоем смеси (рис. 1г) фильтрующимся материалом модели по методу реакции связующего с отвердителем.

ПРЕИМУЩЕСТВА ЛЕДЯНЫХ МОДЕЛЕЙ

Создание и обработка способов получения оболочковых форм с порошковой облицовкой (покрытием) вокруг разовой ледяной модели реализует одну из разновидностей новой криотехнологии литья мелких и средних металлозаготовок. Она исключает или сводит к минимуму использование органических полимеров — связующего для песка оболочковой литейной формы, заменяет пенопластовые или выплавляемые парафино-стеариновые модели, соответствует экологически чистым малоотходным технологиям, для популяризации которых применимы слоганы «просто добавь воды», «в отходах — только вода».

Отсутствие в этой технологии дорогостоящих материалов и оборудования позволяет рекомендовать ее (еще на стадии отработки до промышленного уровня) в качестве приемлемой методической тематики в учебных институтах для выполнения студентами-литейщиками НИР, курсовых и дипломных работ. Замораживают модели при температурах не ниже минус 15...18 °С (для ускорения последующего таяния их в форме), для чего **достаточно бытовой морозильной камеры в любой учебной лаборатории**. Кстати, обычные для супермаркетов многометровые ряды морозильных бонет с замороженными продуктами размерами от горошины до мясной туши вполне могли бы стоять в литейном цехе с ледяными моделями таких же размеров и температуры. А наблюдение студентами получения модели, формовки в сухом песчаном наполнителе, удаления модели при поглощении ее пористой средой наполнителя, извлечения из сухого наполнителя и сушки оболочки даст представление почти о всех процессах модельно-формовочной тематики с физико-химическим подбором модельно-связующих композиций, тепло-массопереносом и фильтрационно-поверхностными явлениями. Такое ознакомление с новыми криотехнологиями, оценка их экологичности, энерго- и ресурсосберегаемости даст преимущества молодым специалистам для применения их на производстве.

Криотехнология литья из черных и цветных металлов по ледяным моделям защищена институтом ФТИМС НАН Украины десятками патентов на изобретения. Нынешнее финансирование науки не позволяет быстро довести эту технологию до применения в цехе. Мы приглашаем научных и инженерных партнеров для совместных исследований и внедрения в производство этого экологически безопасного и ресурсосберегающего процесса литья. ■

Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора О. И. Шинского