

Summary

Zborshchik A., Anishchenko N., Stets V., Galinkov D., Vityaz A., Vaskevich M., Avtyuhovich I.

The influence of ladle slag basicity on changing of sulphur content in hot metal in the ladles

The low slag basicity in iron ladles of Ukrainian metallurgical plants can be the reason of metal resulphurization during filling and transportation of ladles. The basicity of ladle slag should be at least 1,0 to prevent hot metal resulphurization in ladles. The rise of slag basicity up to 1,1-1,2 and more creates conditions for hot metal desulphurization during filling and transportation of ladles and for reducing of metal resulphurization intensity after deep hot metal desulphurization with magnesium.

Keywords

iron ladle, slag basicity, resulphurization, desulphurization of cast iron

Поступила 23.09.10

УДК 621.744

В. С. Дорошенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Многовариантность использования ледяных моделей при литье в песчаные формы

Создание технологии литья по ледяным моделям преследует цель получения экологически чистого производства. Разработанные способы состоят в том, что после таяния модели в песчаной форме получают полость и заливаемый расплавленный металл контактирует с увлажненным песком или связанной оболочкой. Анализ вариантов изготовления песчаных форм по таким моделям показывает значительные возможности сочетания криотехнологии с традиционными видами формовки.

Ключевые слова: песчаная форма, лед, криотехнология, ледяные модели, формовка, оболочковая форма

Тенденция увеличения количества литейных цехов и участков литья по выплавляемым (ЛВМ, investment casting / lost wax process) и газифицируемым моделям (ЛГМ, lost foam casting) подтверждает спрос промышленности прежде всего в точных видах литья (near-net-shape castings). Мировая практика свидетельствует о постоянном росте производства отливок процессом ЛГМ, которое превысило 1 млн т/год. По темпам роста ЛВМ опережает другие способы; в одной КНР число участков точного литья превышает 1,5 тыс. Ужесточение нормативов в соответствии с европейским законом о химкомпонентах и их выбросах влияет на выбор литейной технологии. За выброс 1 т литейных отходов в Европе придется платить ~ € 200, а за отходы с отклонением от нормы по содержанию вредных компонентов – еще дороже.

Вместе с тем, в ФТИМС НАН Украины (отдел формообразования под руководством профессора О. И. Шинского) в результате исследований, конструкторских и технологических разработок в течение ряда десятилетий созданы и совершенствуются

разновидности и технические режимы ЛГМ, новизна которых и лидирующие позиции института подтверждены почти сотней патентов. Для новых и реконструируемых цехов ЛГМ поставляется отечественное оборудование производительностью 100-5000 т/год отливок из черных и цветных сплавов. ЛГМ, заимствуя достижения вакуумной формовки и технологии самотвердеющих смесей, имеет практику получения отливок массой от 0,1 кг до нескольких тонн, успешно конкурируя и покрывая область использования всех видов песчаной формовки (хотя указанные технологии по традиции относят к спецвидам литья).

В институте в настоящее время проводится ряд исследований по созданию концептуально связанного с ЛГМ (использующего те же пресс-формы для получения моделей и формовочную оснастку) нового экологически чистого способа производства металлоотливок по одноразовым моделям из льда как конструктивного или матричного материала с добавками или примесями (freeze cast process).

Целью настоящей статьи является рассмотрение различных способов получения песчаных форм по ледяным одноразовым моделям, новизна которых состоит в том, что продукты таяния модели могут частично или полностью впитываться в поровое пространство сухого песка формы [1, 2]. При опробовании этих способов формовки и разработке их до опытно-промышленного уровня исследователи столкнулись с множеством разноплановых явлений, практически не рассмотренных в теории литейных процессов, мало применяемых в технологии песчаной формы и подлежащих исследованию и использованию.

Обширные знания о влаге и воде как «главной» жидкости планеты накоплены многими дисциплинами. При вовлечении их в технологию литья по ледяным моделям применимы научные основы гидромеханики, подземной гидравлики, механики сплошных (гетерогенных, пористых и сыпучих) сред, гляциологии и др. Методы физической (коллоидной) химии и поверхностных явлений, включая описание закономерностей сорбции при пропитке дисперсных сред, каким является формовочный материал, позволяют регулировать импрегнацию продуктов плавления модели в материал литейной формы под воздействием перепадов давления, температуры и концентрации. Методы термодинамики (в т. ч. неравновесных процессов) путем составления тепловых и материальных балансов с учетом фазовых изменений материалов позволяют создать математические модели процессов [3].

В природе такой многовариантности соединений материалов с другими жидкостями, как с водой, пожалуй, не найдется. Влага в материале может находиться в пяти видах (по П. А. Ребиндеру): химически, адсорбционно, капиллярно, осмотически связанная и свободная вода, удерживаемая в дисперсной структуре и захваченная телом механически. Для большинства формовочных материалов два вида влаги – адсорбционная и капиллярная – являются основными. В арсенале современных представлений насчитывается до девяти видов льда, хотя бытует ошибочное мнение о том, что лед – самое простое и понятное из веществ. Перенос влаги (массы) в формовочном материале вследствие наличия неоднородности полей (температурного и давления) носит градиентный характер, описываемый уравнением Фика: $j = -D \text{grad} C$, где коэффициент D имеет значение суммарной массопроводности реального капиллярно-пористого материала, C – массосодержание рассматриваемого компонента (вода, лед, пар) в порах материала литейной формы [4].

В вакуумируемой литейной форме, чаще всего используемой для литья по ледяным моделям, явление теплопереноса сочетается с температурными изменениями при фазовых превращениях влаги, что взаимосвязано с массопереносом, а также усложняется влиянием поля давления на этот процесс. Процессам замораживания и таяния такой модели свойственны объемные изменения материала, а операции нанесения сухих облицовок или присыпок

на модель неизбежно сопровождаются увлажнением этих модельных покрытий путем их охлаждения при контакте со льдом модели ниже температуры точки росы окружающего воздуха и конденсации из него влаги [5]. Математическое описание нестационарного процесса теплопереноса в песке литейной формы с учетом фазовых превращений влаги обычно связано с получением аналитических решений ряда краевых задач тепло- и массопереноса при произвольных начальных распределениях потенциалов переноса от источников теплоты и массы на поверхности (или в объеме) литейной формы. При этом важно избегать громоздкости изложения, чтобы за буквами формул не потерять физический смысл, а решения не получить сложными в физическом понимании и инженерном обращении для технолога-литейщика.

Оценивая постепенное развитие ледяных технологий как один из шагов в завтрашний день промышленного производства с новым уровнем экологической культуры, отметим, что бум криотехнологий, по нашему убеждению, еще только предвидится по сравнению с сегодняшним вниманием к нанотехнологиям (последний термин впервые введен в научный оборот в 1974 г.). Еще в начале прошлого века польский геофизик А. Б. Добровольский в своей монографии «Естественная история льда» (пожалуй, единственной в мире такого рода публикации) предложил называть криологией [6] отрасль науки, изучающей лед во всех видах и проявлениях. Термин «криотехнология» распространен пока лишь среди медиков, пищевиков и создателей холодильной техники. Сам же лед как материал для изготовления промышленных конструкций еще не нашел широкого применения. Вовлечение криологии и упомянутого массива междисциплинарных знаний в литейное производство как технологического использования науки в качестве производительного ресурса неизбежно даст высокотехнологичные способы получения отливок. Это будет отечественный вклад в решение эко- и ресурсосберегающей проблематики в той области промышленности, где отечественная научная школа обладает запатентованными приоритетами новизны, о чем свидетельствуют нижеприведенные примеры способов формовки.

В ФТИМС разработка технологии получения песчаной формы по ледяной модели ведется в таком направлении, когда для формовки применяют сухой несвязанный песок аналогично вакуумно-пленочной формовке (ВПФ, V-process). Это, прежде всего, обосновано экологическими причинами, поскольку традиционно наличие связующего в отработанном удаляемом в отвал песке и термодеструкция этого связующего с выделением газов дают основные загрязнения по вине формы. Кроме того, наличие связующего повышает стоимость формы, усложняет уплотнение формовочного материала и его регенерацию.

ВПФ обычно связана с нанесением синтетической пленки на модель. Для такой формовки преимущественно в неразъемной форме разработан

способ облицовки пленкой модели при помощи действия воздушного давления на пленку. Это давление используют в двух вариантах – пониженном или повышенном относительно атмосферного. Его поддерживают лишь короткий период в процессе операции наложения пленки в виде мешка, внутрь которого помещают модель с последующим запаиванием (сварочным швом) при герметичной упаковке модели. Под действием остаточного разрежения в мешке пленка плотно облепает модель и исключает контакт модели с воздухом цеха, в том числе при длительном складировании ледяной модели в камере холодильника. Это сохраняет качество модели, поскольку во время хранения неупакованной модели часто наблюдается заваливание ее краев по причине сублимации льда. Кроме того, эта пленка служит изолятором при контакте модели с воздухом вне холодильника, что удлиняет допустимое время продолжительности технологических операций с моделью в атмосфере цеха, а также позволяет нанести пульверизатором на модель поверх пленки быстро-сохнущую спиртовую огнеупорную краску, которая в контакте со льдом модели вызвала бы его местное оплавление.

После герметичной упаковки модели в запаиванный мешок больше не требуется удерживания пленки на модели с помощью вакуумного насоса на всех операциях ее транспортирования, хранения, окраски поверх пленки, формовки в песок. Это освобождает формовочные конвейеры от традиционного при ВПФ совмещения с оборудованием по упаковке моделей и синхронизации формовки с этой операцией. Заранее упакованные модели можно подавать транспортным конвейером со склада на формовочный конвейер. После плавления и удаления модели в вакуумируемой форме синтетическая пленка из упаковки модели становится характерным для ВПФ герметизатором песка формы, что далее сводит техпроцесс к известной тщательно отработанной технологии ВПФ и гарантирует стабильное качество отливок.

Вариант выполнения такой упаковки показан на рис. 1, где в разрезе изображен коробчатый подаватель 1 с одной или двумя подвижными стенками или шарнирно соединенными створками, которые

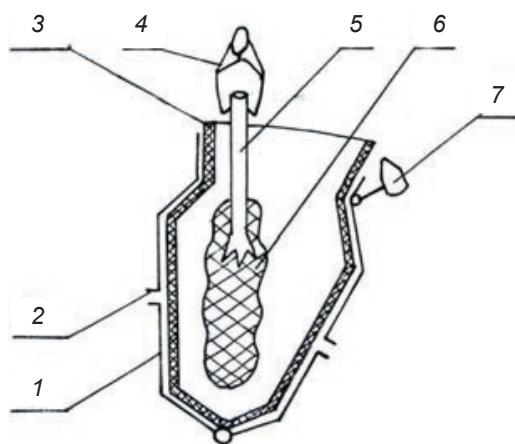


Рис. 1. Способ упаковки в синтетическую пленку

могут иметь штуцеры 2. Внутрь коробчатого подавателя помещен мешок из синтетической пленки 3 (из полимерного материала, традиционного для ВПФ), а также заведена подвешенная на зажиме 4 за стояк 5 модель 6. На одной из створок закреплен паяльник 7 для выполнения сварочного шва отверстия мешка из пленки.

Способ нанесения синтетической пленки на модель осуществляют следующим образом. Прямоугольный мешок из синтетической пленки помещают внутрь открытого подавателя и размещают пленку вдоль стенок подавателя, оставляя мешок с открытым верхним отверстием. Для этого каждую из двух пленок мешка крепят по периметру створок подавателя известными способами: присасыванием с помощью вакуума, приклеиванием полоской липкой ленты, механическими прижимами и т. п. К штуцерам может быть подведен вакуум для прижима пленки к створке подавателя, а на створках могут быть закреплены нагреватели для нагрева пленки мешка до температуры ее пластического состояния.

В подаватель с открытым мешком помещают модель, закрепленную сверху зажимом за стояк литниковой системы, ленту из синтетической пленки, вмонтированную в тело модели, либо другую подвеску. Модель стояка при этом может быть выполнена из пузырчатой пленки в виде замороженного в лед тела модели рулона требуемого диаметра. Материалы синтетической пленки мешка, трубок и подвесок модели выбираются такими, что они легко сплавляются в один сварочный шов. После подвешивания модели в полости подавателя его створки смыкают и одновременно создают перепад газового давления на внешней поверхности синтетической пленки путем нагнетания газа под давлением через штуцер. Это давление выдавливает из мешка воздух и прижимает пленку к модели. Сразу же за этим нагретым паяльником выполняют сварочный шов вплотную к закрытым створкам подавателя, которые затем открывают, и упакованную модель отправляют на склад. Подаваемое избыточное давление в пределах традиционного для литейных цехов значения до 600 кПа (6 кг/см²) может кратковременно создавать более плотный стык (касание) пленки, влияющий на четкость отпечатка модели в песчаной форме, чем традиционно применяемый вакуум для ВПФ в пределах до минус 80 кПа.

На рис. 2 показан результат упаковки модели с

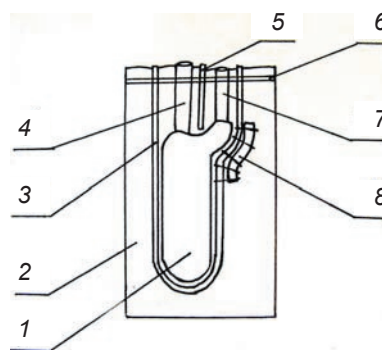


Рис. 2. Упакованная модель

помощью вакуумирования, где в плане изображена модель 1, упакованная в мешок 2 из прозрачной синтетической пленки, герметично заваренной по периметру мешка. В этом случае по периметру модели размещена гибкая пластиковая трубка 3 с внутренним диаметром порядка 3-30 мм в зависимости от величины модели. Упакованная модель имеет стояк 4 и выпор 7 (может иметь дополнительную пластиковую трубку 5). Трубки 3, 5, стояк и выпор выходят в верхнее отверстие (створ) мешка; оно герметично сварено швом 6, которым сплавлено все, что в него попало. Для повторения сложных изгибов модели на трубке 3 может быть установлен каркас 8 (либо вставлен в нее), например, из жесткой проволоки. Трубки в местах, где они проходят вблизи модели, выполнены перфорированными с отверстиями диаметром 0,5-5,0 мм (в зависимости от диаметра трубок). Отверстия выполняют по оси, параллельной стыку пленки.

Трубки размещают на расстоянии 0-10 мм от поверхности модели в зависимости от ее величины и конфигурации. На пластиковой трубке смыкается присасываемая пленка. Эта трубка для сложных моделей со впадинами может размещаться не в плоскости, а формировать более сложную конфигурацию поверхности стыкования синтетической пленки мешка, для чего форму изгиба этой трубки удерживают каркасом. После присасывания пленки к модели подключением трубок к вакуум-насосу и смыкания створок подавателя наносят сварочный шов, оставляя вокруг модели газовое разрежение в герметично закрытом мешке, и далее действуют аналогично первому случаю. Если ледяную модель в таком состоянии охладить в холодильнике, то в герметично закрытом мешке создается или усиливается газовое разрежение за счет охлаждения оставшегося воздуха путем охлаждения газа (по закону Шарля для идеального газа) вокруг модели, что усиливает прижатие к ней пленки и повышает качество отпечатка в песчаной форме при последующей формовке.

Если упакованную модель формуют в контейнере, то ее засыпают песком не выше сварочного шва пленки, который затем обрезают (предпочтительно после начала вакуумирования формы), как при ВПФ, проведя соответствующую традиционной технологии герметизацию формы. После таяния ледяной модели ее выливают из полости формы. При наличии трубки вблизи модели для вакуумирования мешка имеется возможность удалить жидкий модельный материал путем откачивания. Если модель в мешке тает при формовке в песке со связующим после набивки или отверждения формовочной смеси, то жидкость легко вылить через стояк/выпор или откачать по трубке, не увлажнив форму, поскольку герметичная упаковка мешка служит водонепроницаемым разделителем формы от продуктов модели.

При формовке в парных опоках и выводе всех концов мешка за пределы внешнего контура опок по их разъему концы мешка можно обрезать по периметру, тем самым превратив мешок в два полотнища пленки, которые при ВПФ служат герметизаторами лада двух полуформ, а при обычной формовке

со связующим – разделительным слоем двух полуформ и защитой формы от влаги, если модель ледяная. По стыку этих двух полотнищ полуформы можно разнять и удалить модель, что позволяет применять многоразовые модели, что удобно для ВПФ, когда мешок служит носителем двух полотнищ пленки для покрытия вакуумируемых полуформ. В этом случае сокращаются затраты на вакуумируемую модельную оснастку из-за того, что в теле модели не надо выполнять проводящие вакуум каналы для присасывания пленки к модели и выгодно для изготовления моделей, требующих разъема полуформ по поверхности сложной конфигурации. В процессе расстыковки парных полуформ при наличии трубок по периметру их можно использовать для подачи газа под давлением с целью облегчения расстыковки форм по полотнам пленки. Трубки при этом легко извлечь и использовать многократно, а отпечаток от них на форме удобно использовать для помещения в него шнурового уплотнителя стыка собранных полуформ, что также уменьшает брак литья из-за протекания металла по разъему формы.

Описанный способ упаковки в пленку послужит защитой для художественных изделий при изготовлении по ним копий, ледяных моделей от сублимации льда во время хранения и даст возможность надежно их герметизировать при формовке в вакуумируемой песчаной форме. Указанные варианты создания перепада газового давления позволяют выбрать наиболее приемлемый способ получения четкого оттиска формы для отливок высокого качества.

Кроме синтетической пленки для герметизации поверхности формы при ВПФ также применяют жидкий герметизатор, который наносят на поверхность полости формы. Перепад газового давления в полости и толще песка формы, согласно технологии ВПФ, удерживает песок в сжатом неподвижном состоянии. Однако идея применения расплава модельной композиции в качестве такого герметизатора оказалась непростой для реализации, поскольку при таянии ледяная модель отходит от поверхности формы, уменьшаясь в объеме (особенно в потолочных и вертикальных местах), где открываются для доступа воздуха и остаются мелкие (точечные) поры, быстро расширяемые потоком воздуха до эрозионных зон, которые затем дают бракованную поверхность отливки. Аналогия этому явлению наблюдается при ВПФ: если проколоть иглой пленку вакуумированной формы, сразу под проколом образуется рыхлость песка (впадина или канавка), порой малозаметная для формовщика.

После проведения цикла экспериментов лучшие результаты показала технология, при которой жидкое герметизирующее покрытие с некоторым избытком подавали к поверхности модели перед или одновременно с созданием перепада давления на формовочный материал. Этим жидким герметизирующим покрытием (вместо пленки) стал расплав ледяной модели, или модельная композиция. Практика отработки технологии формовки по одноразовой модели в дисперсном формовочном материале позволила сформулировать следующие

принципиальные критерии новой технологии: следует не только перевести твердую модель в текучую (жидкую) путем расплавления или растворения с последующим освобождением от нее полости формы и нанести герметизирующее покрытие или создать оболочку (корку) вокруг этой полости, но и выполнить эти операции таким способом, чтобы ни на мгновение не допустить как отсутствия свойственного ВПФ перепада давления на поверхности полости формы, так и проникновения воздуха сквозь недостаточно загерметизированный песок, который, имея более высокую проникающую способность в поры песка чем жидкость, наносит песчаной поверхности эрозии в виде трещин и раковин. Они визуальны незаметны при формовке в неразъемной форме, однако становятся причиной возникновения указанных выше дефектов поверхности металлической отливки.

Введение герметизирующей жидкости на верхнюю часть поверхности модели через отверстие трубчатого выпора (стояка) до начала вакуумирования песка и поддержание полости формы полностью заполненной этой жидкостью в период времени до момента прекращения впитывания ее песком и перевода модели в жидкое состояние надежно герметизируют полость формы и исключают проникновение потока воздуха в песок. При вакуумировании формы сжатие (прессование) песка перепадом (градиентом) атмосферного и внутриформенного пониженного воздушного давления как средством уплотнения и удержания в неподвижном виде сухого песка действует на полость формы только через поверхность жидкости в течение времени выдержки и этим приводит к герметичному запечатыванию этой полости. А жидкость одновременно выполняет герметизацию этой полости двойко: покрытием и пропиткой тонкого слоя песка. При формовке эту жидкость заливали в канал выпора и тем самым не допускали воздух до песчаной поверхности со стороны полости формы, что предотвращало эрозию последней.

Кроме того, указанное целостное состояние несвязанного песка, как показано ниже, возможно без применения вакуумирования формы с заменой его гидростатическим давлением жидкости, что уменьшает трудо- и энергозатраты производства и расширяет область применения способа как формовки из песка без или с минимальным количеством связующего.

В качестве примера осуществления такого способа формовки на рис. 3 показана в сечении односторонняя модель 1, которая выполнена, в частности, из льда и заформована в песке 2, который вакуумируют через пористое дно с полостью 3. Верхняя поверхность песка формы (контрлад) герметизируется синтетической пленкой 4, а другие – стенками опоки или контейнера (контуры их условно показаны линиями, ограничивающей песок формы). Для упрощения примера выпор 5 может также служить стояком для заливки металла, или форма может иметь иной конструкции стояк (коллектор), который не попал в сечение. Если форма имела два отверстия (выпор

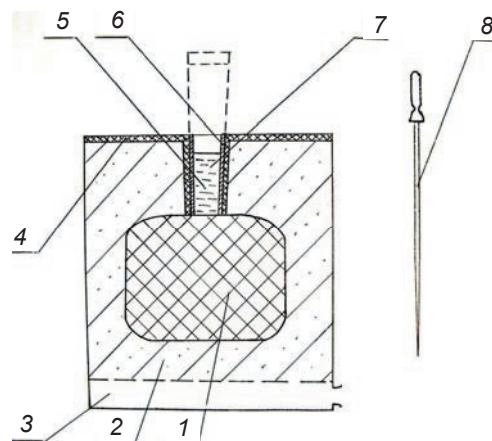


Рис. 3. Вакуумируемая песчаная форма

и стояк), то герметизирующую жидкость подавали либо в оба, либо в одно, а второе затыкали пробкой. В качестве герметизирующей жидкости использовали модельную композицию – водный раствор 25%-ного жидкого стекла плотностью $1,08 \text{ г/см}^3$.

Выпор и стояк выполняли полыми, их покрывали синтетической пленкой, наносимой на обечайки 6 требуемого диаметра из фольги или тонкой жести для сохранения трубчатой конфигурации после засыпки песка в опоку. После заливки в выпор герметизирующей жидкости 7 показан ее уровень в выпоре. Высоту столба этой жидкости с гидростатическим давлением для удержания слоя невакуумированного песка показано пунктиром, при этом трубку выпора удлиняли. Для применения варианта удаления жидких продуктов из полости формы через тонкие каналы в нижней части формы использовали шило 8, изображенное рядом с формой.

Второй пример применения способа герметизации пропиткой показан на рис. 4, где сохранены п. 1 и 2 такими, как на рис. 3: в контейнерной форме 3 пленкой 4 покрыта обечайка 6 выпора 5 с жидкостью 7. В отверстие выпора введен патрубок 8 с резиновым уплотнителем, по которому герметизирующую жидкость подают под давлением P . Контейнер формы покрыт плотно к песку крышкой 9 из жесткого материала (стали), чтобы при значительном повышении давления P не произошло выдавливание вверх песка.

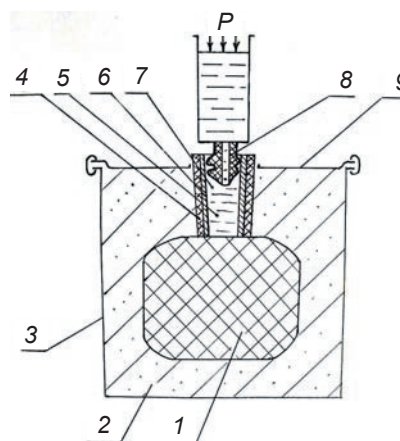


Рис. 4. Форма из песка без связующего

Формовку одноразовой модели выполняют по-добно литью по газифицируемым моделям. На модель устанавливают или закрепляют известными способами трубчатый стояк и выпор (или один из них как совмещенный вариант), песок виброуплотняют, герметизируют пленкой по контрладу или плотно закрывают крышкой. Затем заливают в трубчатый канал выпора и/или стояка герметизирующую жидкость и включают вакуумирование формы (см. рис. 3), либо вводят патрубок и дают герметизирующую жидкость под давлением в форму под крышкой (см. рис. 4). Поскольку выпор чаще устанавливают на верхнюю часть отливки, то прежде всего в него удобно заливать эту жидкость.

Осуществление способа формовки основано на соблюдении того подтвержденного практикой принципа, что пока поверхность не загерметизирована, нельзя начинать вакуумирование песка из-за эрозии песчаной поверхности потоками воздуха. Если вокруг модели в песчаной среде создан вакуум, а на поверхность жидкости действует атмосферное давление через канал выпора, то генерируемый таким образом перепад давления заставляет жидкость постепенно заполнять поры. При таянии ледяной модели ее твердая часть уменьшается, модельная и герметизирующая жидкости вместе продолжают герметизировать полость формы, передавая на ее поверхность указанный перепад давления. За время таяния модели в течение нескольких минут поверхностный слой вокруг полости успевает надежно пропитаться жидкостью без доступа воздуха со стороны контрлада. Затем жидкость удаляют из полости формы путем выливания при переворачивании формы на 180°, отсасыванием по трубке через отверстие выпора или через дно полости по наколам иглой сквозь загерметизированную оболочку одного или нескольких отверстий (диаметром 1,0-2,5 мм глубиной 3-5 мм), по которым жидкость проходит через вакуумированный песок, частично испаряется и попадает в камеру 3. Удаленную жидкость процеживали, проверяли ее плотность и использовали повторно.

После удаления жидкости форму заливают металлом. Если для мелких отливок в результате указанных операций песок формы надежно пропитан герметизатором и не осыпается, вакуумирование отключают. После накопления достаточного количества форм на объем плавки формы вновь подключают к источнику вакуума и заливают металлом, а для совсем простых отливок возможен вариант заливки без вакуумирования. Готовую загерметизированную форму (хоть она и держит вакуум) нет необходимости лишнее время удерживать под вакуумом из соображений экономии энергии. Если даже в местах наколов образуются точечные выпуклости, их затем зачищают.

Величину гидростатического давления герметизирующей жидкости для удержания в статике слоя невакуумированного песка определяли так. Например, при соотношении объемных масс кварцевого уплотненного песка и воды как основы герметизирующей жидкости 1,6 высота ее столба в полости

выпора должна быть не менее чем в 1,6 раз больше толщины слоя песка, через который проходит выпор. Его трубчатую конструкцию соответственно удлиняли и создавали в ней столб (показано пунктиром на рис. 3). После таяния ледяной модели форму подключали к вакууму, жидкость удаляли в указанном выше порядке и проводили заливку металла. Избыток трубчатого выпора или стояка можно срезать перед заливкой, или его сжигает расплав металла. Указанный вариант способа герметизации более «мягкий», поскольку дает возможность создать минимально технологически возможный перепад давления на поверхность формы.

Применение избыточного давления P на герметизирующую жидкость на 50 ± 20 кПа выше атмосферного (см. рис. 4) дает тот же эффект, что и такой же величины разрежение в толще песка ниже атмосферного давления (см. рис. 3). В первом случае атмосферное давление сохраняется в толще песка, а во втором – снаружи песка. Обычно легче регулировать и поддерживать избыточное давление (чем разрежение), регулируя пропитку поверхностного слоя формы до уровня, достаточного для достижения ее прочности и целостности, сохраняемых после прекращения действия давления.

С целью конкретного изготовления партии отливок на ледяные модели согласно способу [5] наносили сыпучие облицовки с небольшими добавками гипса, цемента, бентонита, крахмалита или других вяжущих. Для формовки также пригоден кварцевый песок (ГОСТ 2138-84) с глинистой составляющей, в %: 2-10, 10-20 (полужирный), 20-30 (жирный) и 30-50 (очень жирный) – природные песчано-глинистые смеси. При контакте со льдом и конденсировании влаги из воздуха в облицовке начинался процесс твердения (набухание глинистых частиц и других) и образования корки (пленки), который затем продолжался на протяжении от нескольких до десяти минут. За это время проводили засыпку песка в форму с моделью, уплотнение песка, герметизацию контрлада формы, заливку герметизатора в выпор и выдержку уровня жидкости выше уровня модели, придерживаясь указанного режима реализации способа. После засыпки и уплотнения песка в форме как герметизирующую жидкость применили чистую воду или воду с добавками, которые реагируют с облицовкой или способствуют герметизации иным образом, аналогично способу [7].

Во время таяния модели одновременно происходил процесс образования стабильного герметизированного слоя при частичном впитывании жидкости на глубину до 0,5...5,0 мм (для моделей до 1 кг) в песок. Расход жидкости (обычно в количестве до 10...15 %) компенсировали заливанием в выпор согласно конкретному технологическому процессу. Однако при таянии объем льда модели уменьшался на 9 %, поэтому не меньше этого объема жидкости заливали в выпор. В случае быстрого перевода модели в жидкое состояние в ряде случаев для тонкостенных моделей проводили дополнительную выдержку (0,5...3,0 мин) до завершения процесса герметизации пропиткой перед удалением из

полости формы жидких продуктов, хотя обычно этого не требуется. Применение такой выдержки позволяло варьировать материалы и операции для оптимизации разновидностей этого способа с точки зрения материало- и трудозатрат.

В случаях перевода в жидкое состояние пенополистироловой модели в литейной форме такими жидкими растворителями, как живичный скипидар, другой органический растворитель или (лучше) жидкий раствор (5-10 %) полистирола в скипидаре, которые одновременно служили растворителями и герметизаторами [8], придерживались той же обязательной последовательности. Сначала проводили герметизацию полости формы жидкостью в период перевода модели из твердого состояния в жидкое, и только после образования надежно загерметизированной формы или зафиксированного поверхностного слоя ее полости происходил контакт с воздухом полости формы. Также при необходимости форму вакуумировали за короткий период до и во время заливки в нее расплава металла.

Следующими вариантами дальнейшего развития технологии формовки по ледяным моделям в ФТИМС выбрали направление получения оболочковых форм пропиткой сухого формовочного материала с применением быстротвердеющих связующих составов. Это направление начиналось с введения в формовочный песок материала, который твердеет при взаимодействии с талой водой от модели и создает прочную корку (например, полуводного гипса или цемента). Вода от тающей модели проникает в песок и отверждает его тонкий поверхностный слой. Однако указанные материалы имеют весьма ограниченное использование при изготовлении форм. Гипсовые смеси обладают низкой огнеупорностью и газопроницаемостью, а обе смеси, особенно цементные, – большой длительностью твердения, что затрудняет их применение для литья по ледяным моделям. Обе смеси трудно регенерировать.

Из-за нагрева и таяния ледяной модели в контакте с воздухом цеха и формовочной смесью в процессе формовки требуется быстрое образование корки как оболочковой формы вокруг модели. Если этого не удавалось достичь, то неподвижного состояния стенки полости формы достигали применением вышеуказанного принципа жидкой герметизации, вакуумирования формы аналогично ВПФ и/или созданием гидростатического давления жидкой (модельной) композиции. Процесс связывания частиц формовочной смеси принято рассматривать как скрепление твердых тел жидким веществом (в нашем случае с последующим твердением), когда прочность связывания зависит от соотношения сил когезии, адгезии и их абсолютных величин. Технология изготовления форм, упрочняемых в контакте с оснасткой, – холоднотвердеющих смесей (ХТС) или твердеющих под действием различных химических реагентов [9] – обладает большим количеством связующих композиций для получения прочной песчаной корки. В нашем случае использовали композиции из двух ингредиентов, входящих сначала отдельно в составы материалов модели и формы,

а затем взаимодействующих друг с другом при пропитке модельным расплавом сыпучего формовочного материала формы. При этом один из пары ингредиентов являлся связующим формовочной смеси, а другой – отвердителем или катализатором отверждения этого связующего (как трактует современная теория литейных процессов). Если один вводили в модель, то другой – в песок, и наоборот. Отвердитель вступает в прямое или косвенное химическое взаимодействие со связующим, а катализатор обеспечивает отверждение связующего в результате изменения pH среды. Среди химических и физико-химических процессов отверждения при пропитке модельным расплавом поверхностного слоя песчаной формы и образовании твердеющей связующей композиции из пары ингредиентов преобладали процессы поликонденсации и полимеризации, реализующие преимущественно химический тип связи между частицами формовочного песка.

В связи с потерей несущей способности тающей модели в контакте со стенкой формы выбирали составы ингредиентов для мгновенного (лучше всего) или наиболее быстрого твердения (с минимальным индукционным периодом). Зачастую это были такие пары ингредиентов, которые ранее были забракованы разработчиками ХТС из-за малой живучести смеси. Выбор ингредиентов и их количества (мас. доля) обосновали тем условием, что продолжительность создания прочной корки должна составлять не более продолжительности расплавления модели. Иначе при более медленном твердении, как показала практика, в полости формы возможно отделение песчинок или слоев несвязанного песка от потолочных частей формы и опускание их вниз в среде модельного расплава, что ведет к браку формы. Кроме того, медленное твердение стимулирует излишне глубокую пропитку формы, что дает перерасход модельно-формовочных составов (часто с дорогостоящими ингредиентами), а также излишне увлажняет форму, а это может увеличить время подсушки оболочки и в целом замедлит цикл формовки. Медленное твердение тормозит производственный процесс, ведет к излишнему перерасходу ресурсов и снижает качество форм и отливок, а процесс создания прочной корки (не дольше продолжительности расплавления модели) позволяет сразу по окончании твердения удалить жидкие продукты модели из полости полученной оболочковой формы и передать ее на следующую операцию подсушки или литья под вакуумом.

В первом примере пары ингредиентов в качестве вяжущего использовали жидкое стекло (содовое). Второе после глины по объему применения для формовки связующее, которое согласно ГОСТ 13078-81 выпускается с модулем 2,61-3,0 – низкомодульное и 3,01-3,5 – высокомодульное, в жидком виде с плотностью 1360-1500 кг/м³. В литейном производстве применяют жидкое стекло с модулем 2,0-3,1, однако в нашем случае при введении жидкого стекла в модельную композицию и выборе для него порошкового отвердителя учитывали, что чем выше модуль жидкого стекла, тем выше его степень полимеризации

и тем больше скорость твердения. Отверждение жидкостекольных смесей чаще всего производят такими порошкообразными материалами, как феррохромовый шлак, нефелиновый шлак и др. Нефелиновый шлак (% основных компонентов: CaO – 54-58; SiO_2 – 28-32; Al_2O_3 – 2-4; Fe_2O_3 – 2-4; $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ – 2-3) – побочный продукт производства глинозема из нефелиновых руд. Феррохромовый шлак – саморассыпающийся шлак ферросплавного производства, содержащий более 70 % двухкальциевого силиката, его состав, %: CaO – 48-54; SiO_2 – 20-30; Al_2O_3 – 4-8; MgO – 7-12; Cr_2O_3 – 2-12; FeO – 0,1-2,0.

Среди других порошковых отвердителей жидкого стекла, вводимых в формовочную смесь, известен кремний, 75%-ный ферросилиций, силикофторид кальция и другие, а такие материалы как гидроксид и хлорид кальция, силикофторид натрия и т. п. могут использоваться как в порошке в песчаной смеси, так и в водном растворе [9] модельной композиции. Жидкое стекло не теряет свойств при замораживании-размораживании. Его использовали в водном растворе модельной композиции в количестве 5-30 % от массы воды, а порошковые отвердители вводили в облицовочный песчаный слой [5] или в единый формовочный материал при уменьшении (по возможности) толщины стенок формы до 5-15 мм. При реализации варианта с введением жидкого стекла в песок в сухом порошке вводили в количестве 1-10 % от массы песка, а соответствующее количество отвердителя для него вводили в модельную композицию.

В последнем случае можно применять сухой концентрат для скоростного приготовления жидкого стекла по ТУ 5743-001-31178039-2001 (производства ЗАО «Урал ВИМ», Челябинск) в виде порошкообразного материала (молотая силикат-глыба). Он поставляется в мешках для быстрого приготовления водных растворов жидкого стекла непосредственно на месте потребления путем добавления к расчетному количеству концентрата необходимого количества воды. Производитель контролирует этот концентрат по содержанию диоксида кремния (SiO_2), оксидов щелочных элементов (Na_2O , K_2O), их соотношению, характеризующему как силикатный модуль M , что удобно для расчетов жидких композиций. При получении оболочки по ледяной модели предпочтение следует отдавать калийсодержащему жидкому стеклу, так как самотвердеющие смеси на его основе имеют повышенную скорость затвердевания и сохраняют свою активность к затвердеванию при низких температурах, что проверено при работе вне помещения в зимнее время.

При выборе следующей пары ингредиентов в качестве связующего опробовали лигносульфонаты (ЛСТ – побочные продукты при производстве целлюлозы из древесины сульфитным способом). В литейном производстве они занимают четвертое место после глины, жидкого стекла и синтетических смол и являются очень дешевыми недефицитными органическими водными связующими, обеспечивающими хорошую выбиваемость форм, в том числе из ХТС. Согласно ГОСТ 13 183-83 производятся ЛСТ марки А

(жидкие, содержат сухих веществ не менее 47 %, плотностью не менее 1230 кг/м³) и марки Т (твердые, более 76 % сухих веществ); рН 20%-го раствора ЛСТ – не менее 4,4. Для оболочковых форм аналогично ХТС, отверждаемых хромовым или марганцевым ангидридом или другими соединениями с шестивалентным хромом, наиболее подходящими являются ЛСТ с кальциевым основанием, которые применяют в формовочных смесях в количестве 2-5 % (иногда до 8 %) в сочетании с глиной 2-3 % или природными формовочными глинистыми песками. В качестве добавок, вызывающих самотвердение смесей с ЛСТ, используют хромовый ангидрид Cr_2O_3 , бихроматы натрия и калия и персульфат аммония в количестве от 0,2 до 0,7 % от массы смеси. Если хромовый ангидрид вводят в модельную композицию, то используют водный раствор с плотностью не выше 1,3 г/см³ и тогда ЛСТ в виде порошка вводят в облицовочный песчаный слой. А если ЛСТ вводят в модельную композицию, то обычно разбавляют водой до плотности не выше 1,17-1,20 г/см³, а порошкообразный отвердитель помещают в песчаный слой.

Третью группу ингредиентов выбрали по аналогии с технологией ХТС, в которой используется синтетическая смола и отвердитель (кислота). Процесс твердения синтетических смол связан с переводом полимеров с низкой молекулярной массой в полимеры с высокой молекулярной массой. Такие процессы отверждения синтетических смол, в зависимости от структуры получаемых полимеров, называют полимеризацией или поликонденсацией. Смеси со смолами имеют преимущества по сравнению со смесями с другими связующими, состоящими в их высокой прочности при малом (1,0-2,5 %) расходе связующего. Однако при этом они, как правило, требуют качественных песков.

Для литья по ледяным моделям весьма перспективны водорастворимые фенолоформальдегидные смолы, например, СФЖ-30-13 и водоземulsionная СФЖ-301. Их можно вводить в модельный состав в количестве порядка 2,5 %, а в песчаной смеси иметь до 3 % глины или применять недорогие глинистые пески и отверждать смесь катализатором ПТСК в составе этой песчаной смеси в количестве 0,6-1,5 % [9]. Глина при этом адсорбирует низкомолекулярные фракции связующего, в результате чего повышается прочность оболочки. В качестве катализаторов отверждения наибольшее распространение получили бензосульфокислота (БСК) и ортофосфорная кислота (ОК). БСК $\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}$ поставляется в виде кристаллического продукта темно-серого цвета с относительной молекулярной массой 158,18. Эта кислота хорошо растворяется в воде, адсорбирует влагу из воздуха. Техническая БСК состоит (%) из моносulfокислоты бензола – 98,4-98,6; свободной H_2SO_4 – 1,2-1,4 и бензола – не более 0,2 (ТУ 6-14-25-74). Катализаторами отверждения карбамидных смол служат органические (щавелевая, лимонная, уксусная) и неорганические (серная, соляная, фосфорная) кислоты, а также некоторые соли (хлористый аммоний, хлористый цинк). Щавелевая кислота

может поставляться в порошке белого цвета (для применения в водном растворе обычно рекомендован 10%-ный раствор), а паратолуолсульфокислота (ПТСК, $C_7H_8O_3S \cdot H_2O$) поставляется в виде белых кристаллов без запаха с растворимостью в воде 67 г/100 мл воды.

БСК в виде водного раствора обычно используется плотностью до 1,20-1,25 г/см³ в качестве катализатора для отверждения феноло-формальдегидных, фурило-феноло-формальдегидных и других смол, а ОК в виде водного раствора плотностью до 1,20-1,55 г/см³ используется в качестве катализатора для отверждения смол карбамидофуранового класса. Для ускорения процесса отверждения песчано-смоляных плакированных смесей или смесей с порошкообразной смолой используют водный раствор соляной кислоты, а также катализаторы ЛСФ, АМ и др. Катализатор ЛСФ представляет собой концентрат сульфитно-спиртовой барды, подкисленной ортофосфорной кислотой, применяется при использовании смолы КФ-90.

Для введения в песчаную смесь в порошкообразном виде перспективны некоторые смолы производства ОАО «Уралхимпласт» (Свердловская обл., Нижний Тагил) согласно ГОСТ 18694-80 (Смолы фенолформальдегидные твердые), в частности СФ-011, СФ-012, СФ-015, СФ-015М и другие согласно рекомендациям справочника [10], связующие фенольные порошкообразные типа СФП-011Л по ТУ 6-05-1370-90 (ОАО «Карболит», Орехово-Зуево) или по ТУ 2257-111-05015227-2006, а также некоторые твердые эпоксидные смолы согласно ГОСТ 10587-84 и смола фенолформальдегидная твердая СФЖ-303 по ГОСТ 20907-75 (ОАО «Карболит»).

В процессе применения твердых ингредиентов в порошковом виде их могут предварительно подвергать размолу, а количества выбирать в зависимости от требуемой скорости твердения корки оболочковой формы. Описанные способы получения оболочковой формы по ледяным моделям открывают перспективу использования новейших быстротвердеющих композиций для литейного производства. Они

расширяют возможности использования льда как несущего или матричного материала для одноразовых литейных моделей (в том числе с различными примесями и добавками), которые подвергаются плавлению и частичному впитыванию в песок литейной формы.

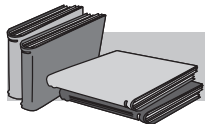
Описанные способы формовки объединяет не только применение ледяной модели, но и решающая роль вакуума: если в первом случае он выполнял роль уплотнителя, загерметизированного пленкой песка, то во втором – удерживал на поверхности и впитывал в песок герметизирующую жидкость, а в последних случаях способствовал переносу одного из двух составляющих самотвердеющих связующих композиций через границу поверхности вглубь песчаной среды, содержащей вторую составляющую этой композиции. Эти способы обладают новизной и значимостью в научно-техническом плане на пути создания экологически безопасных криотехнологий, поскольку в способах введения в сухой песок формы связующего для получения оболочки его используют по количеству на порядок меньше, чем для традиционных ХТС, а упомянутая формовка по облицованной пленкой ледяной модели обходится без связующего. По представлению исследователей, в идеале над формой, содержащей только песок и лед, после заливки будут витать лишь пары воды, как над чашкой чая.

Отливки, полученные во ФТИМСе в 2009-2010 гг., песчаные оболочки и ледяные модели машиностроительных отливок показаны на рис. 5.

Описанная технология литья по ледяным моделям относится к наукоемким высоким технологиям литейного производства и развивающимся криотехнологиям промышленности. Сейчас она проходит стадию патентования и активной исследовательской и технологической разработки одновременно с апробированием в литейном цехе, но по мере развития займет свою нишу для производства точных мелких и средних металлических отливок, дополняя возможности литейного производства и кардинально повышая его экологическую культуру.



Рис. 5. Ледяные модели, песчаные оболочки, отливки (выполнены гл. технологом Ю. Н. Ивановым): модели и чугунные отливки полумуфт (а); распиленные оболочки и отливка шестерни (б); модели и отливки шестерен (в)



ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. № 80381 України, МПК В22С 9/02, В22С 7/00, Спосіб виготовлення виливків / О. І. Шинський, В. С. Дорошенко. – Опубл. 2007, Бюл. № 14.
2. Дорошенко В. С. Предпосылки создания технологии литья по ледяным моделям в вакуумируемых формах // Металл и литье Украины. – 2009. – № 4-5. – С. 18-23.
3. Дорошенко В. С. Создание математической модели пропитки поверхностного слоя песка связующим при получении оболочковых форм // Процессы литья. – 2008. – № 5. – С. 67-77.
4. Дорошенко В. С., Кравченко В. П. Взаимосвязанные процессы переноса в песчаной форме при литье по одноразовым моделям // Металл и литье Украины. – 2009. – № 9. – С. 15-18.
5. Пат. № 88304 України, МПК В22С 7/00, Спосіб нанесення покриття на охолоджувану модель / О. Й. Шинський, В. С. Дорошенко. – Опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19.
6. Dobrowolski A.B. Historia naturalna lodu. – Warszawa: Wyd. Kasa im. Mianowskiego, 1923. – 940 s.
7. Пат. № 89664 України, МПК В22С 9/04 В22С 7/00, Спосіб виготовлення піщаних форм за моделями, що поглинаються піском форми / О. Й. Шинський, В. С. Дорошенко. – Опубл. 25.02.2010, Бюл. № 4.
8. Пат. № 86634 України, МПК В22С 9/02, 9/04, 7/00, Спосіб виготовлення піщаних форм за моделями, що поглинаються піском форми / О. Й. Шинський, В. С. Дорошенко – Опубл. 2009, Бюл. № 9.
9. Дорошенко С. П. и др. Формовочные материалы и смеси. – Киев: Вища шк., 1990. – 415 с.
10. Специальные способы литья / Под ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – С. 169-171.

Анотація

Дорошенко В. С.

Багатоваріантність використання крижаних моделей при литті в піщані форми

Створення технології лиття за крижаними моделями має на меті одержання екологічно чистого виробництва, коли після розтавання моделі в піщаній формі отримують порожнину і заливають розплавлений метал, що контактує зі зволоженим піском або зв'язаною оболонкою. Аналіз варіантів виготовлення піщаних форм за такими моделями показує значні можливості поєднання кріотехнології з традиційними видами формування.

Ключові слова

піщана форма, лід, кріотехнологія, крижані моделі, формовка, оболонкові форми

Summary

Doroshenko V.

Multivariancy of ice patterns usage for sand casting

Creation of casting technology for the ice pattern aims for environmentally friendly production, when after ice pattern melting in the sand mold the cavity is filled with received molten metal, that contacts with wet sand or related cover. Analysis of versions for making sand molds for this pattern shows considerable potention for combination of cryotechnology with traditional molding.

Keywords

sand mold, ice, cryotechnology, ice patterns, molding, shell mold, investment castings

Поступила 26.04.10