

КРИОТЕХНОЛОГИЯ ПРОНИКАЕТ В ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ПОВЫШАЕТ ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ КУЛЬТУРУ

Create investment casting technology for the ice pattern aims for cleaner production, when, after the melting of the ice pattern in the mold of sand and fill the cavity receiving the molten metal in contact with moist sand or with a related envelope. Analysis of options for making sand molds for this pattern shows considerable potential combination of cryotechnology with traditional molding.



В. С. Дорошенко

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 со связанной оболочкой. Анализ вариантов изготовления песчаных форм по таким моделям показывает значительные возможности сочетания криотехнологии с традиционными видами формовки.

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, на точные виды литья (near-net-shape castings). Мировая практика свидетельствует о постоянном росте производства отливок процессом ЛГМ, которое превысило 1 млн т/год. И ЛВМ показывает опережающие другие способы литья темпы роста, в одной КНР число участков точного литья превышает 1,5 тыс. Одновременно 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, во ФТИМС НАН Украины (отдел формообразования под руководством профессора О. И. Шинского) в течение ряда десятилетий созданы и совершенствуются разновидности и технические режимы ЛГМ, новизна которых и лидирующие позиции подтверждены почти сотней патентов. Для новых и реконструируемых цехов ЛГМ поставляется оборудование производительностью 100-5000 т/год отливок из черных и цветных сплавов. Хотя указанные технологии по традиции относятся к спецвидам литья, ЛГМ, заимствуя достижения вакуумной формовки и технологии самоотвердеющих смесей, дает воз-

можность получать отливки развесом от 0,1 кг до нескольких тонн, успешно конкурируя со всеми видами песчаной формовки и покрывая зону их действия.

В настоящее время в институте проводится цикл исследований по созданию концептуально связанного с ЛГМ нового экологически чистого способа производства металлотливок по однофазовым моделям из льда как конструктивного или матричного материала с добавками или примесями (freeze cast process).

Новизна большинства разработанных вариантов получения песчаных форм по ледяным однофазовым моделям состоит в том, что продукты таяния модели могут частично или полностью впитываться в поровое простран-

Владимир Степанович Дорошенко, к.т.н., с. н. с., Физико-технологический институт металлов и сплавов Национальной академии наук Украины НАНУ, Украина, г. Киев

ство сухого песка формы [1, 2]. При опробовании этих способов формовки и разработке их до опытно-промышленного уровня исследователи столкнулись с множеством разноплановых явлений, мало или практически не рассмотренных в теории литейных процессов, слабо используемых в технологии песчаной формы и подлежащих исследованию и использованию.

Оценивая постепенное развитие ледяных технологий как один из шагов в завтрашний день промышленного производства с новым уровнем экологической культуры, отметим, что, по нашему убеждению, бум криотехнологий еще только предвидится по сравнению с сегодняшним вниманием к нанотехнологиям.

Во ФТИМС разработка технологии получения песчаной формы по ледяной модели ведется в таком направлении, что для формовки применяют сухой несвязанный песок аналогично вакуумно-пленочной формовке (ВПФ, V-process). Это обосновано, прежде всего, 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:

пониженное или повышенное против 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 облегает 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 заоваливание ее краев по причине сублимации льда. Кроме того, эта пленка служит изолятором при контакте модели с воздухом вне холодильника, что удлинит допустимое время продолжительности технологических операций с моделью в атмосфере цеха, а также позволяет поверх пленки нанести пульверизатором на модель быстросохнущую спиртовую огнеупорную краску, которая в контакте с льдом модели вызвала бы его местное оплавление.

После герметичной упаковки модели в запаиваемый 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 со склада транспортным конвейером подавать на формовочный конвейер. После плавления и удаления модели в вакуу-

мируемой 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 могут иметь штуцеры (2). Внутри 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). К одной из створок закреплен паяльник (7) для выполнения сварочного шва отверстия мешка из пленки (3).

Способ нанесения синтетической пленки на модель осуществляют следующим образом (рис. 3). Прямоугольный мешок из синтетической пленки (3) помещают внутрь открытого подавателя (1) и размещают пленку вдоль стенок подавателя, оставляя мешок с открытым верхним отверстием. Для этого каждую из двух пленок мешка крепят по периметру

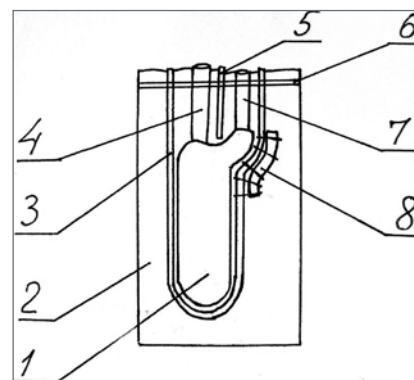


Рис. 1. Способ упаковки в синтетическую пленку.

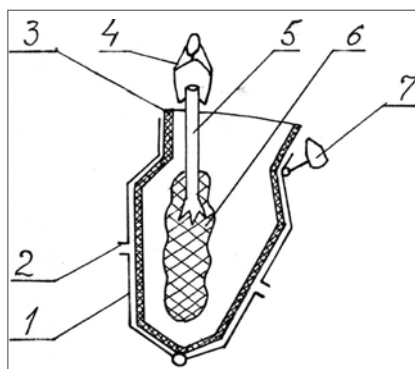


Рис. 2. Упакованная модель.

створок подавателя известными способами: присасыванием с помощью вакуума, приклеиванием полоской липкой ленты, механическими прижимами и т. п. К штуцеру (2) 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 (6), закрепленную сверху зажимом (4) за стояк (5) 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 рулона требуемого диаметра, который заморожен в лед тела модели. Материалы синтетической пленки мешка, трубок и подвесок модели выбираются такими, что они легко сплавляются в один сварочный шов. После подвешивания модели в полости подавателя створки его смыкают и одновременно создают перепад газового давления на внешней поверхности синтетической пленки путем нагнетания газа под давлением через штуцер (2). Это давление выдавливает из мешка воздух и прижимает пленку мешка к модели. Сразу же за

этим нагретым паяльником (7) выполняют сварочный шов впритык к закрытым створкам подавателя. Затем створки подавателя 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 с 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 (1) имеет стояк (4) и выпор (7) и может иметь дополнительную пластиковую трубку (5). Трубки (3) и (5), стояк и выпор входят 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 (3) и (5) в местах, где они проходят вблизи модели, выполнены перфорированными с отверстиями диаметром 0,5-5 мм в зависимости от диаметра трубок, отверстия выполняют по оси параллельной стыку пленки.

Трубки (3) и (5) размещают на расстоянии 0-10 мм от поверхности модели в зависимости от ее величины и конфигурации.

На пластиковую трубку смыкается присасываемая пленка, эта трубка для сложных моделей с впадинами может размещаться не в плоскости, а формировать более сложную конфигурацию поверхности стыкования синтетической пленки мешка, для чего форму изгиба этой трубки удерживают каркасом (8). После присасывания пленки к модели подключением трубок (3) и (5) 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 за счет охлаждения оставшегося воздуха создается или усиливается газовое разрежение 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, проводя соответствующую традиционной технологии герметизацию формы. После таяния ледяной модели ее выливают из полости формы либо откачивают через трубку, причем при наличии трубки вблизи модели для вакуумирования мешка имеют возможность удалить жидкий модельный материал путем откачивания по этой же трубке. Если модель в мешке растает при формовке в песке со связующим после на-

бивки или отверждения формовочной смеси, то ее 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 разьему концы мешка по периметру можно обрезать, 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 моделей, требующих разьема полуформ по поверхности сложной конфигурации. При расстыковке парных полуформ при наличии трубок по периметру их можно использовать для подачи газа под давлением для облегчения расстыковки форм по полотнам пленки. При этом трубки 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 в литье по

причине протекания металла по разьему формы.

Описанный способ упаковки в пленку послужит защитой для художественных изделий при формовке по ним копий, ледяных моделей от сублимации льда во время хранения и возможность надежной их герметизации при формовке в вакуумируемой песчаной форме. Указанные варианты создания перепада газового давления позволят выбрать наиболее приемлемый способ для получения оттиска формы высокой четкости, что позволит получать отливки 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 в толще песка формы, согласно ноу-хау ВПФ, удерживает песок в сжатом неподвижном состоянии. Однако, идея применения в качестве такого герметизатора расплава модельной композиции оказалась непростой для реализации, поскольку при таянии ледяная модель отходит от поверхности полости формы, уменьшаясь в объеме, и особенно в потолочных и вертикальных местах открываются для доступа воздуха и остаются мелкие (точечные) поры, которые поток воздуха вглубь вакуумированного песка быстро расширяет до эрозионных зон, что затем дает бракованную поверхность отливки. Аналогия этому явлению наблюдается при ВПФ, когда проколоть иглой пленку вакуумированной формы, сразу под проколом образуется рыхлость песка, впадина или канавка, порой малозаметные 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 (ноу-хау) новой технологии: следует не только 1) перевести в текучую (жидкую) твердую модель путем расплавления или растворения с последующим освобождением от нее полости формы; 2) нанести герметизирующие покрытия или создать оболочку (корку) вокруг этой полости, а выполнить эти операции таким способом, чтобы 3) ни на мгновение не допустить как отсутствия свойственного ВПФ перепада давления на поверхности полости формы, так и 4) проникновения воздуха сквозь недостаточно загерметизованный песок. Имея значительно более высокую проникающую способность в поры песка, чем жидкость, воздух наносит песчаной поверхности эрозии в виде трещин и раковин. Они при формовке в неразъемной форме визуально незаметны, однако становятся причиной создания указанных 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 жид-

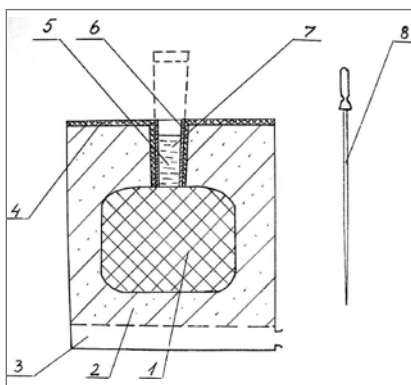


Рис. 3. Вакуумируемая песчаная форма.

костью до момента прекращения впитывания ее песком и перевода модели в жидкое состояние надежно герметизируют полость формы и исключают проникновение в песок потока воздуха. 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 двояко: по-

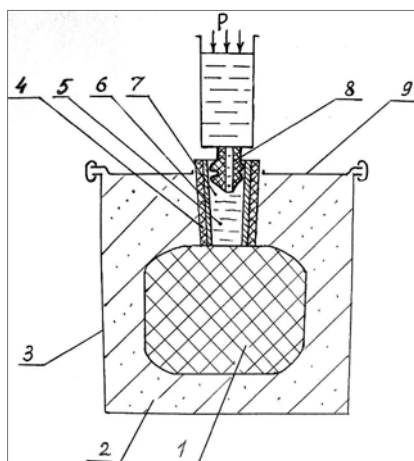


Рис. 4. Форма из песка без связующего.

крытием 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 труд- 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 в сечении показана одноразовая модель (1), которая выполнена, в частности, из льда и заформована в песке (2), его вакуумируют через пористое дно с полостью (3). Верхняя поверхность песка формы (контрлад) герметизируется синтетической пленкой (4), а другие — стенками опок или контейнера (контуры их условно показаны линией, 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 и стояк), то герметизирующую жидкость подавали, либо в оба, либо в один, а второй затыкали пробкой. Использовали в качестве герметизирующей жидкости модельную композицию — водный раствор 25% жидкого стекла плотностью $1,08 \text{ г/см}^3$.

Выпор и стояк выполняли по-разному, их покрывали синтетической пленкой (4), наносимой на

требуемого диаметра обечайки (6) из фольги или тонкой жести для сохранения трубчатой конфигурации после засыпки песка в опоку. После заливания 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.п. 1, 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 плотно к песку покрыт крышкой (9) из жесткого материала (стали), чтобы при значительном повышении давления (P) не произошло выдавливание вверх песка.

Формовку одноразовой модели выполняют подобно литью по газифицируемым моделям. На модель устанавливают или закрепляют известными способами трубчатый стояк и выпор (5) (или один из них как совмещенный вариант), песок виброуплотняют, герметизируют пленкой (4) по контрладу или плотно закрывают крышкой (9). Затем заливают в трубчатый канал выпора и/или стояка герметизирующую жидкость и включают вакуумирование формы (рис. 3), либо вводят патрубок (8) и дают герметизирующую жидкость под давлением в



форму под крышкой (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 через канал выпора действует атмосферное давление, то генерируемый таким образом перепад давления заставляет жидкость постепенно заполнять поры. При таянии ледяной модели твердая часть модели уменьшается, модельная и герметизирующие 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 загерметизованную оболочку одного или нескольких отверстий (диаметром 1,0-2,5 мм глубиной 3-5 мм), по которым жидкость проходит через вакуумований песок, частично испаряется и попадает в камеру (3). Удаленную жидкость процеживали, проверяли ее плотность и использовали повторно.

После удаления жидкости форму заливают металлом, или,

если для мелких отливок в результате указанных операций песок формы надежно пропитан герметизатором и не осыпается в ее полости, то отключают вакуумирование. 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 загерметизованную форму, хотя она и держит вакуум, нет необходимости лишнее время удерживать под вакуумом из соображений экономии энергии. Если даже в местах наколов образуются точечные горбики, как правило, в выступающих частях отливки, их затем зачищают.

Величину гидростатического давления герметизирующей жидкости для удержания в статике слоя невакуумированного песка определяли так. Например, при соотношении объемных весов 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 такой столб (показано пунктиром на рис. 3). После таяния ледяной модели форму подключали к вакууму, жидкость удаляли указанным выше порядком и проводили заливку металла. Избыток трубчатого выпора или стояка можно срезать перед заливкой или его сжигает расплав металла. Указанный вариант герметизации более «мягкий», поскольку дает возможность создать минимально технологически возможный

перепад давления на поверхность формы.

Применения избыточного давления (Р) на герметизирующую жидкость на 50 ± 20 кПа выше атмосферного (рис. 4) дает тот же эффект, что такой же величины разрежение в толще песка ниже атмосферного давления (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.

Для конкретного изготовления партии отливок, согласно одному из способов [5], на ледяные модели наносили сыпучие облицовки с небольшими добавками гипса, цемента, бентонита, крахмалита или других вяжущих. Также пригоден для формовки природный формовочный кварцевый песок (ГОСТ 2138-84) с глинистой составляющей (2-10%), полужирный (10-20%), жирный (20-30%) и очень жирный (30-50%), которые, по сути, являются природными песчано-глинистыми смесями. При контакте со льдом и конденсировании влаги из воздуха в облицовке начинался процесс твердения (набухание глинистых частиц и др.) 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 герметизирующие жидкость применили чистую воду или воду с добавками, которые реагируют с облицовкой или иным образом способствуют герметизации, аналогично способу [7].

За 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

уменьшается 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 минуты) до завершения процесса герметизации пропиткой перед удалением из полости формы жидких продуктов, хотя обычно этого не требуется. Применение такой выдержки позволяло варьировать материалами и операциями 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 жидкостью полости формы в период перевода модели из твердого в жидкое состояние и только после образования надежно загерметизованного состояния формы или зафиксированного поверхностного слоя ее полости — контакт с воздухом полости формы. Также при необходимости вакуумировали форму в короткий период перед и во время заливки в нее расплава металла.

(Окончание следует)