

Предпосылки создания технологии литья по ледяным моделям в вакуумируемых формах

Литье в песчаные формы остается основной производственной технологией получения отливок, которая охватывает 75-80 % их выпуска, а реальной перспективой среди конкурирующих технологий обладает способ литья в песчаные вакуумируемые формы [1]. Кроме того, тенденция увеличения количества литейных цехов и участков, использующих способы литья по газифицируемому (ЛГМ) и выплавляемым моделям (ЛВМ), подтверждает заинтересованность машиностроителей именно в точных видах литья. Мировая практика свидетельствует о постоянном росте производства отливок способом ЛГМ, которое превысило 1,5 млн. т/год. Высокие темпы роста показывает и ЛВМ – в одной КНР число участков точного литья превысило 1,5 тыс.

Вместе с тем, во ФТИМС НАНУ, в отделе физико-химии процессов формообразования (ОФХПФ) на основе разработанных научных и технологических основ созданы и совершенствуются разновидности ЛГМ, новизна которых подтверждена более 50 патентами, что говорит о лидирующих позициях института в этом научно-техническом направлении. В отделе создано и поставляется заказчикам базовое технологическое оборудование для новых и реконструируемых литейных цехов серийного и массового производства отливок из черных и цветных сплавов способом ЛГМ мощностью 100-5000 т/год. Следует отметить, что если указанные технологии по традиции относят к спецвидам литья, то ЛГМ, используя достижения вакуумной формовки, а также при формовке с использованием жидкоподвижных самотвердеющих смесей, расширяет практику получения отливок в диапазоне от 0,1 кг до нескольких тонн и успешно конкурирует с традиционными видами песчаной формовки.

Целью проводимых в институте в настоящее время циклов исследований в русле развития и углубления указанного научно-технического задела является создание концептуально связанных с ЛГМ (использующих те же пресс-формы и формовочную

Рассмотрены предпосылки создания технологии литья по ледяным моделям, а также прочность льда как материала для создания конструкций моделей. Описан ряд изобретений по технологии литья с использованием ледяных моделей. Показан перечень проблем для дальнейших исследований по совершенствованию этой новой технологии

оснастку) новых экологически чистых способов производства металлоотливок по одноразовым моделям из льда как конструктивного или матричного материала с армирующими вставками или примесями. Темой настоящей статьи является рассмотрение предпосылок возникновения способа получения песчаных форм по ледяным одноразовым моделям, новизна которого состоит в том, что продукты таяния модели впитываются в поровое пространство сухого песка формы [2]. И хотя безусловные экологические преимущества и технологическая схема способа описаны в работе [3], она до сих пор вызывает ряд вопросов при разработке до уровня ее применения в практике литья с учетом того, что других публикаций автора этой работы в развитие темы в технической и патентной литературе, к сожалению, не имеется.

Публикации о получении ледяных моделей и отливок по ним [4, 5] свидетельствует о том, что в США и КНР эти модели начинают использовать в технологии ЛВМ с высокими показателями точности и чистоты поверхности полученных отливок, а сами модели получают методом быстрого прототипирования-стереолитографии путем послойного намораживания в морозильной камере установкой, аналогичной пространственному струйному или капельному принтеру. Направление исследований по использованию этих моделей в концепции ЛГМ-процесса, вернее, ближе к аналогии с выжигаемыми моделями имеет те преимущества, что позволит технологические операции от формовки по ледяным моделям до заливки металлом формы сократить до интервала продолжительностью порядка десяти-нескольких десятков минут, в частности, с использованием формовочно-заливочных конвейеров.

Особенности этого способа [2] состоят в том, что после формования в сухом песке перед заливкой металла в полость формы ледяная модель предварительно плавится, частично испаряется и поглощается материалом формы под действием

* Работа выполнена под руководством д. т. н., проф. Шинского О. И. при участии Иванова Ю. Н.

ее вакуумирования, освобождая полость формы. Тем самым получаем сочетание ряда технологических процессов: формовку в сухом песке как при ЛГМ; плавление модели как при ЛВМ, но только в окружении сухого песка; увлажнение формы продуктами таяния модели аналогично сырой формовке; вакуумирование песка формы с переносом противопопригарного покрытия модели на поверхность освобождаемой от модели полости формы аналогичных вакуумно-пленочной формовке (ВПФ). В плане реализации этой новой технологии с использованием моделей с ограниченным сроком существования ее следует «вписать» в ранее созданные для ЛГМ концепции конструирования литейных роторно-конвейерных комплексов и линий непрерывного действия [6], которые перед проектированием опытно-промышленных установок будут опробованы на модельно-макетных образцах.

Можно отметить некую закономерность начала работ по созданию технологии литья по ледяным моделям. Поиск новых экологически безопасных способов производства отливок все чаще привлекает внимание литейщиков к расширению использования криотехнологий, в которых традиционные конструктивные материалы и связующие заменяют на замороженную воду. Типичным примером таких способов служит цикл исследований по литью в песчаные замороженные формы [7], а также запатентованные изобретения по применению одноразовых замороженных моделей, состоящих из льда или имеющих лед в качестве связующего. Один из первых вариантов модели как «промежуточной» конструкции между полистироловыми и ледяными моделями представлен в описании изобретения [8]. Модель состоит из ледяной оболочки, внутренняя полость которой содержит наполнитель в виде гранул предварительно увлажненного пенополистирола, скрепленных путем замораживания в металлической пресс-форме (при пропускании ее через морозильную камеру) в единую целостную модель. Это изобретение послужило прототипом для ряда других, включая полые и пеноледяные модели.

В то же время работы, интенсивно ведущиеся во второй половине прошлого века по совершенствованию ВПФ, показали возможность удаления путем термодеструкции синтетической пленки с поверхности полости формы перед ее сборкой [9]. Целесообразность такой операции обоснована повышением качества получаемой отливки без образования газовых раковин и неметаллических включений, вызванных газификацией пленки и газовыделениями от покрывающей пленку противопопригарного покрытия. При этом отмечается, что деструкция пленки источником теплового

излучения не уменьшает вакуум в поверхностном слое формы до нуля, а ограниченную его газопроницаемость компенсируют непрерывным вакуумированием. Кроме того, устраняется потеря времени на сушку противопопригарного покрытия, которое обычно содержит мелкодисперсный огнеупор.

Вместе с тем, проводимые во ФТИМС комплексные исследования по созданию теоретических и технологических основ получения форм с регулируемыми теплофизическими свойствами выявили целесообразность введения жидкого хладагента (например, воды) в пристеночную к отливке зону песчаной вакуумируемой формы вскоре после заливки формы металлом [10]. Эксперименты по такой пропитке водой формы с помощью вакуума и применяемого дозатора в виде емкости с трубкой диаметром 5-8 мм, кроме ускорения охлаждения отливки в 1,5-1,6 раз, показали достаточно высокую скорость всасывания воды под действием вакуума в поровое пространство песка по указанной трубке на уровне 0,02-0,04 кг/с.

Это также позволило разработать способы ограниченного введения хладагента в виде воды в жидком или замороженном виде в полость формы [11] и дало понимание того, что при таянии ледяной модели и пропитки ее талой жидкостью вглубь формы лимитирующей будет скорость таяния, а не скорость пропитки, что подтверждают оценочные расчеты времени пропитки по формуле закона Дарси. Кроме того, если в последнем изобретении зафиксировано, что хладагент дополнительно может содержать модифицирующие, легирующие, армирующие или другие добавки, воздействующие на литейную форму или получаемую в рабочей полости этой формы отливку, то аналогичное может содержать и ледяная модель.

Последнее позволило предложить введение в ледяную модель добавок, осаждаемых в поверхностном слое полости формы при фильтрации тающего модельного материала и создающих герметизирующее покрытие [12]. В качестве добавок предложено (находятся на этапе экспериментального опробования) такие высокомолекулярные вещества как карбометилцеллюлоза (КМЦ), являющаяся типичным стабилизатором литейных красок и поливинил-ацетатная (ПВА) эмульсия. Их растворяли перед замораживанием в модельном составе и осаждали в виде тонкой пленки на песчаных зернах в поверхностном слое формы при фильтрации этого состава в талом виде.

Такой гелеобразующий материал как жидкое стекло при снижении концентрации влаги в растворе в виде геля способен покрывать поверхность формы и близлежащие песчинки, создавая

герметизирующее покрытие. Мелкозернистый, в том числе, огнеупорный материал (например, шамотный порошок, пылевидный кварц, двуокись циркония) также вполне пригодны для создания герметизирующего и одновременно противопожарного слоя, если они предварительно введены в ледяную модель, а смесь порошков разной угловатости и зернистости усилит эти эффекты. В литейном производстве применяют десятки составов водных противопожарных покрытий, некоторые из которых поставляют в виде концентрата в мешках или бочках для разбавления водой. Многие из них содержат мелкозернистый наполнитель и связующее, и после экспериментальной обработки наиболее технологически пригодные из них будут рекомендованы для создания герметизирующего покрытия путем введения в малой концентрации в модельные замораживаемые составы.

В некоторых случаях, кроме введения в модель, целесообразно введение специальных добавок в формовочную смесь для создания прочной поверхностной корки формы при взаимодействии с продуктами плавления модели [13], а также перспективен для опробования метод получения оболочковых форм пропиткой, включая введение связующего в модельный материал. Среди множества материалов, применяемых в литейной практике, в технологии строительных материалов и способных создать в контакте с водой прочную корку, применимы добавки гипса и цемента, в которые проникает вода под действием капиллярных сил и разрежения формы, и отверждают ее тонкий поверхностный слой. Если материал при взаимодействии с водой расширяется (например, полуводный гипс, который поглощает воду до состояния дигидрата и превращается из порошка в твердое тело), то положительный эффект состоит в снижении газопроницаемости поверхностного слоя, приближаясь до уровня синтетической пленки. Например, бентонит также расширяется – набухает при смачивании водой, что при его наличии в песчаной смеси уплотнит и свяжет слой у поверхности полости формы.

При протекании экзотермической реакции с водой материала смеси ускоряется выплавление модели. Такую реакцию, например, дает полуводный гипс, но значительно активнее реагирует добавка в песок оксида кальция (негашеной извести) при переводе в гидроксид ($\Delta H = + 65$ кДж). При быстром расплавлении модели и стекании воды на дно полости формы для дополнительного смачивания боковых стенок образовавшейся полости формы рекомендуются опрокидывания или наклона формы для растекания остатка воды по стенкам полости формы, если необходимо увеличение ее

содержания в формовочной смеси в пристеночном слое.

После обсуждения ряда имеющихся предпосылок создания технологии формовки по ледяным моделям рассмотрено пригодность льда как материала для создания конструкций. С учетом нагрузок, оказываемых на модель при транспортных и технологических операциях, включая засыпку и виброуплотнение песка при формовке, наиболее адекватно отражает механические свойства материала модели значение предела прочности при изгибе $\sigma_{\text{и}}$. По методике, описанной в работе [14], путем создания нагрузки на образец в виде избыточного газового давления до его разрушения измеряли прочность на изгиб $\sigma_{\text{и}}$, МПа льда, полученного из водопроводной воды. Эти измерения в интервале отрицательных температур $-1...-50$ °С показаны в виде кривой *A* на рисунке. Также для сравнения измерили $\sigma_{\text{и}}$ прессованного снега в интервале температур $-0,5...-45$ °С, кривая *B*. Вместе с тем, на кривой *B* по работе [15] показана зависимость предела прочности при изгибе антарктических льдов от температуры охлаждения.

Кроме того, проведены начальные эксперименты по введению связующих и пленкообразующих материалов в состав модельной композиции и первые измерения $\sigma_{\text{и}}$ показаны при -16 °С на линии *G*, где точка *1* соответствует 50%-ному водному раствору жидкого стекла натриевого марки «В» (ГОСТ 13078-81, модуль 2,6, удельный вес 1,38 т/м³) с добавкой ПАВ 0,5%-ного калиевого жидкого мыла. Точка *4* соответствует такому же раствору, только с 15 % жидкого стекла. Точки *2* – водный раствор с 10 % ПВА, а *3* – с 10 % декстрина. Линия *E* соответствует прочности $\sigma_{\text{и}}$ замороженной песчаной формы с влажностью 5 % при -25 °С. Точка *5* – песок мелкий марок 02–016, точка *6* – песок крупнее фракции 02 с добавками 0316. Для сравнения на кривой *D* показано значение $\sigma_{\text{и}}$ образцов литейного пенополистирола при комнатной температуре (кривая для удобства сопоставления сдвинута на вертикальную линию 0 °С), причем точка *7* соответствует пенополистиролу, вспененному в пресс-форме, а точка *8* – прессованному, вырезанному из блока.

Описанные результаты измерений показывают прочностные показатели льда среди значений прочности известных литейных материалов замороженной формы и модельного пенополистирола. Перспективно применение прессованного снега или чешуйчатого льда, автоматы получения которого выпускаются серийно. По измерениям прочность льда превышает прочность замороженной формы и примерно на треть выше данных, ранее указанных в печатных источниках. Первое вполне объяснимо, так как в формовочной смеси прочность ослабляют

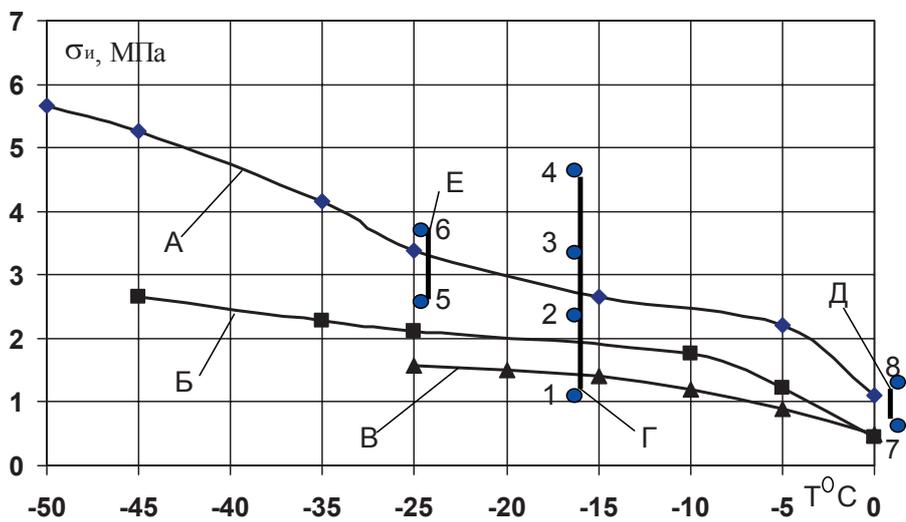


Рис. Прочности на изгиб ледяных моделей в зависимости от температуры. Кривые: А – лед, полученный из водопроводной воды; Б – прессованный снег; В – антарктический лед по работе [15]; Г – лед со связующим; Д – пенополистирол при комнатной температуре; Е – замороженная песчаная форма

поры, обеспечивающие газопроницаемость формы до 200 ед. Второе, видимо, вызвано применением эспресс-метода измерения (испытание длится не более минуты) без учета характерной ползучести льда, а также тем, что при гидрологических испытаниях лед чаще всего брали из природных водоемов со слоями разной структуры.

В целом, технология литья по ледяным моделям базируется на многовариантном процессе использования воды: от конструкционного модельного материала (в виде льда) до хладагента (в талом виде), «отбирающего» тепло и превращающегося в пар в процессе охлаждения отливки и песка формы. Кроме того, на этом технологическом пути с двумя агрегатными превращениями (а затем – с частичной конденсацией в отдаленных уголках формы с температурой ниже 100 °С) воду чистую или с добавками рационально использовать в увлажненном слое песка для усиления его герметизирующей функции. Последнее способствует поддержанию без обрушения песка рабочей полости вакуумируемой формы, поскольку путем увлажнения снижают его газопроницаемость в несколько раз и увеличивают сопротивление песка сдвигу по сравнению с сухим песком. При этом контактная поверхность модели с песком поэтапно, из зоны промерзания (от отрицательной температуры льда) переходит в зону принудительного увлажнения, а затем – в зону сушки.

Решение задач по поиску оптимальных путей проектирования технологии тесно связано с дальнейшими исследованиями закономерностей тепло- и массообменных процессов формирования моделей при низких температурах промышленных конструкций, включая процессы влияния состава замороженного материала и добавок в нем, на конструктивную прочность, размерную

точность моделей, а также с изучением реально протекающих нестационарных физических процессов в толще капиллярно-пористого материала литейной формы (теплоперенос, паро-, воздухо-, влагопроницание, промерзание, оттаивание, сушка, конденсация). Предварительный анализ современных публикаций позволяет сделать вывод о крайней недостаточности и разобщенности исследований в области моделирования и расчета термовлажностных и криологических процессов, протекающих в реальных материалах такого рода.

Весьма важно отработать механизм создания стабильного сбалансированного поля газового давления в полости формы, когда модель тает, а песчаная стенка формы остается нерушимой, а также наладить технологические приемы сохранения равновесия песчаной поверхности за счет сохранения градиента давления на поверхности полости формы благодаря вакуумированию песка формы и герметизирующим свойствам противопригарного покрытия модели. Для таких покрытий и пропиток следует подобрать пленкообразующие вещества в виде вязких смолообразных или твердых стеклообразных соединений. Пленкообразователи, в качестве которых применяют различные олигомеры или полимеры, для данного случая лучше из водорастворимых материалов, могут иметь сравнительно низкую молекулярную массу, но должны обеспечить получение сплошных покрытий в виде сшитых полимерных структур с примесями высокодисперсных огнеупорных компонентов. При этом выбор связующих для водных составов красок и пропиток предполагается в двух направлениях: создание лиофобных полимерных дисперсий и получение пленкообразователей, образующих термодинамически устойчивые растворы.

Стремительное развитие холодильной техники упростит получение низкотемпературных моделей для литейных процессов, позволит создать и испытать сначала в лабораторных условиях технологию их получения, а затем, в сочетании с применением современных нагревателей для быстрого расплавления моделей, позволит спроектировать высокопродуктивные линии для литья в массовом и серийном производстве с наивысшими критериями экологичности. С учетом интенсивно ведущихся разработок в США, КНР, а также указанных в российских статьях, криотехнологии вскоре могут занять заметное место в литейных цехах, принимая

во внимание последние исследования в криологии и достижения в программно-компьютерном управлении процесса намораживания ледяных моделей. Патентный обзор подтверждает конкурентность этой тематики и ежегодный рост по ней объема патентной информации. На первом этапе обнадеживающие результаты дает объединение применения низкотемпературных материалов и ЛГМ-процесса.

Обширные знания о воде и влаге накоплены многими дисциплинами. В данном случае при изучении процессов в литейной форме целесообразно использовать теоретические основы гидромеханики, подземной гидравлики, механики сплошных (гетерогенных, пористых и сыпучих) сред, методы физико-химии к рассмотрению закономерностей сорбции при пропитке дисперсных сред, в частности, при принудительной импрегнации в материал литейной формы продуктов плавления моделей под воздействием перепадов давления, температуры и концентрации, а также методы составления тепловых и материальных балансов процессов с учетом изменения фазового состояния материалов.

Так, согласно учению Ребиндера П. А. влага в материале может находиться в пяти видах: химически-, адсорбционно-, капиллярно-, осмотически связанная вода и свободная вода, удерживаемая в дисперсной структуре, захваченная телом механически. Для большинства формовочных материалов два вида влаги – адсорбционная и капиллярная – являются основными. Кроме того, современные представления насчитывают до девяти видов льда. Эффект переноса массы (в данном случае влаги) вследствие наличия неоднородности температурного поля и поля давления носит градиентный характер, при котором возможно использование уравнения Фика: $j = -D \text{grad } C$, где коэффициент D имеет смысл суммарной массопроводности реального капиллярно-пористого материала, C – массосодержание рассматриваемого компонента (вода, лед) в порах материала формы.

В методах расчета нестационарного влажностного режима строительных материалов используют так называемый «потенциал влажности» – это изотермический потенциал, градиент которого одновременно учитывает влагопроводность и термо-влажнопроводность. Однако, описание теплопереноса в вакуумируемой форме сопровождается температурными изменениями в материале в связи с фазовыми превращениями влаги и взаимосвязанного тепло- и массопереноса, а также усложняется влиянием поля давления на этот процесс; закономерности процессов замораживания и таяния – сопутствующими им объемными изменениями материала, а операции нанесения присыпок на

модель – увлажнением модельных покрытий за счет их охлаждения при контакте со льдом модели ниже температуры точки росы окружающего воздуха.

Математическое описание нестационарного процесса теплопереноса в дисперсном материале литейной формы с учетом фазовых превращений влаги в материале 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) материала литейной формы. При этом следует избегать громоздкости изложения, чтобы за буквами формул не потерять физический смысл, а решения не получить сложными в физическом понимании и инженерном обращении, что без специальной подготовки проектировщика литейной технологии ограничит широкое применение полученных решений.

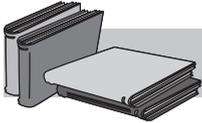
Поскольку фасонные конструкции из льда серийно, практически, не производятся, а таких промышленных технологий их изготовления в технической литературе не обнаружено, то проблема использования льда как несущего или матричного материала для моделей, в том числе, с армирующими примесями, с последующим принудительным разупрочнением и поглощением воды в песок формы, весьма нова и важна в научно-техническом плане на пути создания новых экологически чистых технологий, в том числе, концептуально связанных с ЛГМ-процессом.

Исследование образования структуры металла отливки под воздействием такого хладагента как вода, относящаяся к типичным закалочным средам в технологии термообработки металлов, но примененная непосредственно в литейной форме, даст полезный практический результат как шаг к совмещению двух технологических процессов литья и термообработки, что позволит регулировать структурообразование, механические и технологические свойства отливок при взаимодействии жидкого и твердеющего металла с песчаной поверхностью, охлажденной льдом и насыщенной продуктами плавления модели, включая достижения баланса парогазового давления и оптимизацию газогидродинамики заполнения формы металлом. Важно также исследовать процесс пропитки (импрегнации) формовочного песка продуктами разрушения модельного материала разного состава при содержании поверхности литейной формы в уплотненном виде без признаков ее осыпания, а также в этой связи выбрать оптимальный состав, теплофизические и технологические свойства монолитных и армированных низкотемпературных моделей, их противопопригарных слоев и армирующих фаз.

Вывод

В целом привлечение криотехнологий в литейное производство расширяет возможности влияния температурно-влажностных факторов на процесс управления свойствами формы и отливки, стимулирует проведение теоретических и экспериментальных исследований нестационарных процессов теплопереноса, сопровождающегося фазовыми превращениями влаги в материале в целях

определения оптимальных режимов получения отливок с минимальным и технологическим браком, энергозатратами и экологическими издержками. Эти технологии вполне можно отнести к наукоемким высоким технологиям литейного производства. Сейчас технология литья по ледяным моделям находится на стадии патентования и апробирования, но по мере ее развития она займет свою нишу, дополняя возможности литейного производства.



ЛИТЕРАТУРА

1. Минаев А. А. О конкурентности современных технологий литья в песчаные формы // Литейн. пр-во. – 2007. – № 3. – С. 6-12.
2. Пат. 80381 України, МПК В22С 9/02, В22С 7/00. Спосіб виготовлення виливків / О. Й. Шинський, В. С. Дорошенко. – Оубл. 2007, Бюл. № 14.
3. Гаврилин И. В. Литье по ледяным моделям // Литейн. пр-во. – 1994. – № 9. – С. 14-15.
4. Qingbin Liu, Guanghua Sui, M. C. Leu. Experimental study on the ice pattern fabrication for the investment casting by rapid freeze prototyping (RFP) // Computers in Industry. Issue 3 (August 2002). – V. 48. – P. 181-197.
5. Summary of the Process Rapid Ice Prototyping Case Study. The Center for Laser Rapid Forming (CLRF) of Tsinghua University in China. Ссылка в Интернете: www.garpa.org/case-2000/ch/icecase.pdf.
6. Пат. 2029653 Россия: МКИ В22С 9/02.-5017906/02. Способ непрерывного литья / В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко. – Оубл. 1995, Бюл. № 6.
7. Шинский О. И., Ткачук И. В., Васильев И. Б. Особенности передачи тепла в пористых охлажденных формообразующих материалах. Процессы литья. – 1997. – № 4. – С. 58-63.
8. А. с. № 1121089 СССР: МКИ В22 С7/00. Неразъемная замороженная модель для низкотемпературной формовки. / Шинский О. И. и др. – Оубл. 1984. Бюл. № 40.
9. А. с. № 1063528 СССР: МКИ В22 С9/02. Способ изготовления литейных форм вакуумной формовкой / Шинский О. И. и др. – Оубл. 1983. Бюл. № 48.
10. Пат. 80928 України МПК В22С 9/02. Ливарна форма для вакуумної формовки / О. Й. Шинський, В. С. Дорошенко та ін. – Оубл. 2007, Бюл. № 18.
11. Пат. 83892 України МПК В22С 9/02, В22С 9/04. Ливарна форма / О. Й. Шинський, В. С. Дорошенко. – Оубл. 2008, Бюл. № 16.
12. Пат. 80235 України МПК В22С 9/02, В22С 7/00. Спосіб вакуумного формування по легкоплавких моделях / О. Й. Шинський, В. С. Дорошенко. – Оубл. 2007, Бюл. № 13.
13. Пат. 83891 України МПК В22С9/04, В22С 7/00. Спосіб виготовлення ливарних форм по легкоплавких моделях / О. Й. Шинський, В. С. Дорошенко. – Оубл. 2008, Бюл. № 16.
14. Дорошенко В. С., Шейко Н. И. Определение прочности формы при вакуумно-пленочной формовке // Литейн. пр-во. – 1989. – № 2. – С. 14-15.
15. Романов А. А. Ледовые условия плавания в Южном океане // Морская метрология и связанная с ней океанографическая деятельность. – 1996. – Вып. 35. – С. 76.

Summary

V. S. Doroshenko

Pre-conditions of creation of technology of casting on icy models in forms with the use of vacuum

Pre-conditions of creation of technology of moulding are considered on icy models, and also durability of ice as material for creation of constructions of models. The row of inventions is described on technology of casting with the use of icy models. The list of problems is shown for further researches on perfection it to new technology

Анотація

В. С. Дорошенко

Передумови створення технології лиття за крижаними моделями у вакуумованих формах

Розглянуто передумови створення технології лиття по крижаних моделях, а також міцність льоду як матеріалу для створення конструкцій моделей. Описано ряд винаходів по технології лиття з використанням крижаних моделей. Показано перелік проблем для подальших досліджень по вдосконаленню цієї нової технології

УДК 621.74.045

О. А. Яковышин (ФТИМС НАНУ)

Формирование распределенных областей формы из сыпучего наполнителя в условиях литья по газифицируемым моделям

Одной из отличительных особенностей технологии литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) от существующих литейных схем производства отливок является возможность получения деталей в форме из сухого несвязанного наполнителя, что позволяет расширить применение процесса в аспекте повышения производительности труда и качества получаемого литья с одновременным снижением материало- и трудоемкости процесса. Фундаментальные исследования [1-3], посвященные определению достаточных и необходимых условий устойчивости формы, базируются на допущении о наполнителе как исключительно сыпучем теле. В то же время известно, что при заливке расплава в форму полимерная модель разрушается с выделением жидкой (ЖФ), парогазообразной (ПГФ) и твердой (ТФ) фаз продуктов термодеструкции, оказывающих влияние на качество поверхности отливки, ее физико-механические свойства и условия образования прочности формы [1-5]. Физическая и математическая модели формирования газового режима и противодействия в форме с ГМ на базе представлений о различных характерах движения металла освещены в работах [1-6]. Парогазообразные продукты деструкции под действием потока расплава и формирующегося градиента давлений в зазоре «расплав-модель» и форме на этапе заливки расплава и его охлаждения фильтруются сквозь поры огнеупорного покрытия и формовочного материала. Ввиду того, что скорость фильтрации ПГФ на несколько порядков превышает скорость прогрева формы [7], по мере прохождения ее холодных слоев, охлаждаясь, парогазообразные продукты накапливаются на зернах формовочного материала с образованием конденсированной жидкой фазы (КЖФ), создающей дополнительное препятствие для направленного движения газов. Продвижение ЖФ сквозь поры огнеупорного наполнителя также сопровождается постепенным ее

Предложена физическая модель временного распределения жидкой фазы и конденсированной парогазовой фазы продуктов термодеструкции полимерной модели в объеме формы из сыпучего наполнителя. Экспериментально показано создание условия для формирования различной скорости изменения термонапряженного состояния формы из сыпучего наполнителя. Получены численные значения силы взаимодействия стеклующейся жидкой фазы продуктов термодеструкции модели и кварцевого зерна наполнителя формы

охлаждением с одновременным переходом из вязкотекучего состояния в стеклообразное, когда при данной температуре дальнейшее ее продвижение становится невозможным. Исходя из этого можно предложить следующую физическую модель распределения ЖФ и КЖФ в объеме сыпучего наполнителя формы (рис. 1). В момент времени t_1 , соответствующий начальному этапу фильтрационного движения продуктов термодеструкции на данном горизонте формы, летучие продукты термодеструкции модели устремляются вглубь формы, где происходит их постепенное охлаждение и выпадение на зернах наполнителя в виде конденсата. Одновременно в том же направлении движется смещенная на контактную поверхность «расплав-форма» ЖФ. Охлаждение ЖФ происходит в области, располагающейся в непосредственной близости от стенки отливки. Данную область можно назвать областью скрепления, поскольку располагающиеся в ней частицы наполнителя формы прочно соединены перешедшей в стеклообразное состояние ЖФ. Причем процесс перехода ЖФ в стеклообразное состояние проходит не одновременно, а в течение определенного промежутка времени, характеризующегося переходом вначале из вязкотекучего состояния в высокоэластичное и затем – в стеклообразное. КЖФ располагается в области, которую предлагается назвать областью связности – в ней частицы наполнителя связаны КЖФ, которая при охлаждении не переходит в стеклообразное состояние, поскольку парогазовые продукты разложения пенополистирола в условиях литейной формы представляют собой преимущественно мономер и