

УДК 621.74.045

Поступила 16.07.2016

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОСНАТКИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПЕСЧАНОЙ СМЕСИ ПРИ ВАКУУМНОЙ ФОРМОВКЕ IMPROVEMENT OF EQUIPMENT FOR EFFECTIVE HARDENING SAND MIXTURE BY VACUUM MOLDING

В. С. ДОРОШЕНКО, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина, бульвар Вернадского, 34/1. E-mail: doro@gmail.com

V. S. DOROSHENKO, Physical and Technological Institute of Metals and Alloys of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine, 34/1, Vernadskogo ave. E-mail: doro@gmail.com

Рассмотрены конструкции опочной и модельной оснастки для эффективного упрочнения песчаной смеси при вакуумной формовке (ВПФ) и литье по газофицируемым моделям (ЛГМ). Уплотнение и вакуумирование песчаной смеси – два главных фактора влияния на прочность литейной формы и качество отливок, методы регулирования которых позволяют совершенствовать эти литейные процессы.

The review deals with the design flask tooling and patterns for effective hardening sand mixture in the vacuum molding (V-Process), and molding on a one-off patterns (Lost Foam Casting). Sealing and evacuating sand mixture – two major factors influence the strength of the casting mold and casting quality, management practices which will enable to improve the casting process.

Ключевые слова. *Песчаная форма, вакуумная формовка, оснастка литейная, опока, разовая модель, вакуум, песчаная смесь, упрочнение смеси, литье по газифицируемым моделям.*

Keywords. *Sand casting, vacuum molding, foundry flask, a single pattern, a vacuum, a mixture of sand, hardening mixture, Lost Foam Casting.*

Существенное уменьшение массы литых металлоконструкций является одной из актуальных задач исследований и конструкторских разработок в литейном производстве. Современные литые конструкции в силу используемых литейных процессов и традиционных условий их конструирования в странах СНГ, по мнению проф. О. И. Шинского, превышают расчетные служебные показатели в 1,5–2,0 раза, а в Западной Европе – в 1,3–1,5 раза [1], что приводит к перерасходу энергоносителей, шихтовых материалов и трудоемкости литейного производства. Для осуществления металлосбережения значительным потенциалом обладают методы формообразования, основанные на физических способах упрочнения песчаной формы, в частности, разновидности литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) и вакуумно-пленочной формовки (ВПФ) с вакуумированием песчаной формы. В этих методах сыпучая песчаная смесь (из многократно используемого песка с добавлением до 5% свежего) свободно обтекает при формовке модели без возможности прилипания в отличие от смесей со связующим. Это позволяет формовать модели практически без уклонов и способствует металлосбережению. По точности отливок такие методы приближаются к литью по выплавляемым моделям.

Если прочность смесей со связующим традиционных песчаных форм определяется физико-химическим механизмом адгезионно-когезийного взаимодействия дисперсной системы, включающей связующее и песок, то в вакуумируемых формах из песка без связующего роль последнего в создании прочности формы выполняет градиент газового давления на границе «литейная полость – песчаная среда формы». Научное представление о механизме сохранения прочности вакуумируемой формы на этапах формообразования и заливки формы расплавом состоит в том, что прочность песчаной формы пропорционально зависит от величины разрежения газа в ее поровом объеме [2].

Это определяют конструктивные особенности опочной оснастки вакуумируемых песчаных форм. Если в формах со связующим опочная оснастка выполняет функцию механического крепления смеси, то

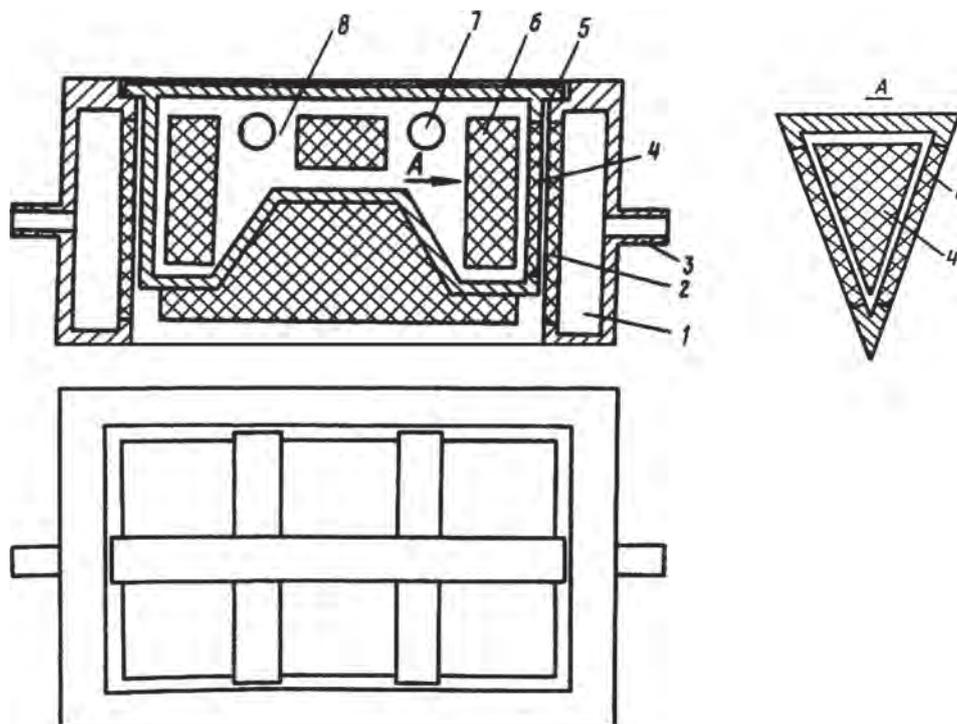


Рис. 1. Опока со вставными ребрами в разрезе, вид *A* и вид в плане (сверху)

в вакуумируемых формах эта функция дополняется потребностью обеспечить заданный уровень разрежения в песчаных стенках формы с учетом сопротивления движению газа в песчаной среде, наличия источника газовыделения в полости формы и частичной ее разгерметизации при заливке металлом. Рассмотрим ряд конструкций опок, разработанных для эффективного вакуумирования формы при производстве отливок повышенной сложности таким методом литья.

Как правило, корпус вакуумной опоки и ребра изготавливают с сообщающимися полостями и встроенными в стенки фильтрами для отсоса газов [3]. Фильтры часто выполняют из сетки типа П28–П48 (ГОСТ 3187-76) или металлорукава, не пропускающих мелкую фракцию песка [4]. На рис. 1 показана опока [3], в которой система ребер – вакуум-фильтров выполнена съемной. Она устанавливается в корпус 1 сверху по очертанию поверхности формируемой модели обычно на расстоянии 50–150 мм от нее. В полый корпус 1 опоки на внутренних стенках предусмотрены фильтры 2, а на наружных – клапаны 3 для подключения трубопроводом к цеховой вакуум-сети. Съемная система полых ребер (крестовин) 8 имеет отверстия 7 для сообщения ребер между собой и устанавливается движением сверху вниз выступами верхних стенок 5 на полки полого корпуса 1. Ребра снабжены боковыми фильтрами 6. Общая полость ребер сообщается с вакуумной полостью корпуса посредством фильтра 4, выполненного на торце ребра. В данном примере конструкции опоки на виде *A* ребра в сечении показаны треугольными, но это не исключает возможности выполнять их округлой или другой формы, включая использование гибкого металлорукава. Существенное их отличие от традиционных опок для вакуумной формовки состоит в том, что для удобства использования при сборке-разборке опочной оснастки и ее опустошения создана возможность свободно вставлять ребра в корпус 1 и извлекать из него. Зазор между фильтрами 2 и 4 обеспечивает свободную установку ребер 8 в корпус 1 и не исключает проникновения между ними формовочного песка. Однако зазор выполнен столь малым (менее 10 мм), что наличие песка практически не затрудняет отсос газов из полости ребер в полость корпуса и далее через клапаны 3.

Конструкция такой опоки позволяет удобно извлекать отливки. При подъеме формы, состоящей из двух спаренных рамочных опок (отключенных от вакуум-сети), ребра нижней опоки с отливкой остаются на решетке приемного устройства, при том, что остальная часть оснастки удаляется. Песок высыпается сквозь эту решетку, опустошая опочную оснастку. Отливка может транспортироваться на ребрах, как на поддоне. В форме с песком подключение вакуума фиксирует ребра, удерживая их вместе с комом песка в форме, отключение позволяет опустошать форму, оставляя лишь ребра верхней опоки (рис. 1). При изготовлении крупных отливок с циклом охлаждения 10–20 ч ребра верхней опоки можно извлекать сразу после отключения формы от вакуум-сети и устанавливать их в другой корпус и использовать для по-

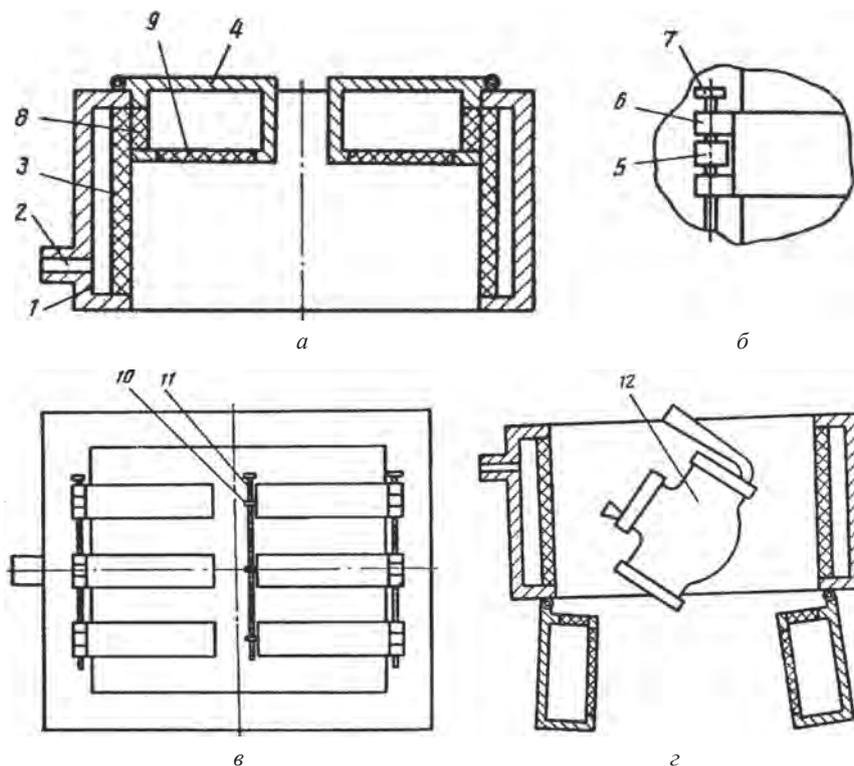


Рис. 2. Опока с шарнирно закрепленными ребрами в разрезе (а), шарнирное соединение (б), вид на опоку в плане (в), операция удаления отливки (г)

лучения следующей формы. Такие ребра можно применять в рамочных опоках для ВПФ, а также в контейнерных опоках для ЛГМ. При описанном механизме извлечения ребер ускоряется процесс охлаждения отливки в силу снижения толщины слоя формы над отливкой. Для отливок различных конфигураций можно использовать соответствующую геометрию ребер, устанавливаемых в корпуса подходящих типов-размеров, что способствует равномерному распределению пониженного давления газа около поверхности металла как важного критерия функционирования опок – эффективное упрочнение песка при вакуумной формовке. Также для простых отливок рассмотренную конструкцию опоки можно использовать без применения ребер.

Для обеспечения эффективного вакуумирования с помощью ребер – вакуумных фильтров одновременно с удобным опустошением формы предложен вариант опоки с ребрами в виде створок коробчатой конструкции, закрепленных шарнирно (рис. 2) [5] к корпусу 1. Корпус 1 с коллекторным каналом, сообщаемым с вакуум-системой через клапан 2, имеет внутреннюю газопроницаемую (с сетчатым фильтром) стенку 3. Ребра 4 из отдельных труб имеют шарнирное соединение, состоящее из петель 5 на стенке опоки и петель 6 на ребре, а также ось 7, которая может извлекаться из петель для съема ребер. Торец полого ребра имеет фильтр 8, упирающийся в стенку 3 при передаче пониженного давления газа из коллекторного канала корпуса 1 в полость ребра 4 аналогично конструкции опоки, приведенной на рис. 1. Полое ребро 4 имеет стенку в виде фильтра 9 для отсоса газов из центральной зоны песчаного массива формы. Возможно крепление ребер при помощи колец 10 и штыря 11 как в одном вертикальном ряду (рис. 2, в), так и в двух рядах для верхней опоки. Для удаления отливки 12 и формовочного песка из опок достаточно отключить их от вакуум-системы. При этом каркасы ребер 4 нижней опоки под собственной массой поворачиваются вниз и отливка 12 вместе со смесью перемещается в технологическое приемное устройство.

Для единичного и мелкосерийного производства средних и крупных отливок, когда имеется потребность переналадки опоки для эффективного вакуумирования практически любой области на границе металл-форма, предложена опока с реечным креплением съемных трубчатых вакуум-фильтров для быстрой их переналадки в соответствии с конфигурацией отливки (рис. 3) [6]. Опока имеет корпус, образованный боковыми наружными газонепроницаемыми стенками 1 и внутренними газопроницаемыми стенками 2, между которыми по периметру опоки образован замкнутый канал 3 с вакуумным клапаном 4. Труба 5, например, прямоугольного сечения имеет фильтры 6 по длине для отсоса воздуха из формовочной смеси и фильтры 7 для сообщения полости трубы с каналом 3. Наклонная труба 8 имеет также филь-

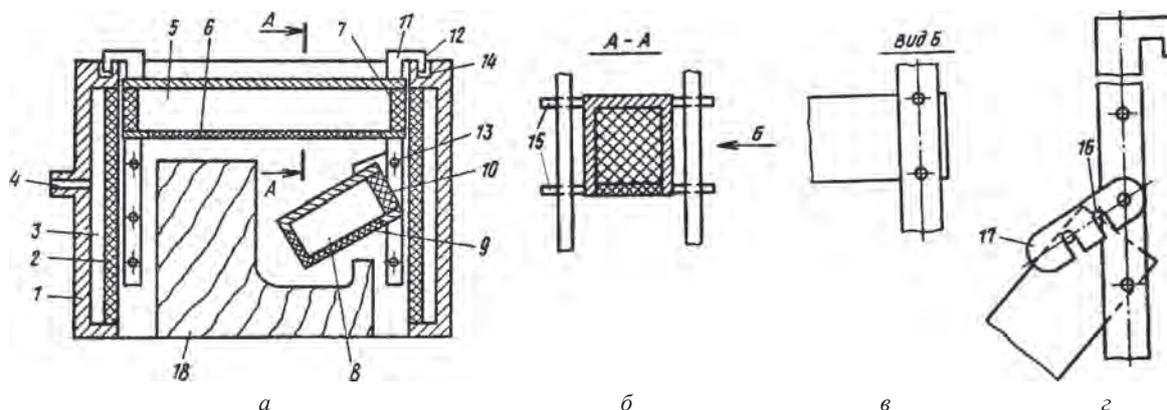


Рис. 3. Опока с креплением ребер с помощью реек в разрезе (а), разрез А-А (б), вид Б (в), крепление ребра под наклоном к плоскости лада (г)

тры 9 для отсоса и торцевые фильтры 10 (в варианте выполняются параллельно к плоскости боковой стенки) для передачи разрежения. Система крепления труб состоит из реек 11 с крючками 12 и ряда отверстий 13. Крючки входят в зацепление с замком 14, который выполнен в виде паза по периметру корпуса опоки.

Штыри 15 в трубах устанавливаются в отверстия 13 реек 11 или в пазы 16 реек 17. На каждом торце трубы 5 имеются по две пары штырей 15 и по две рейки 11. В каждую рейку 11 устанавливается пара штырей 15 в отверстия 13, труба 5 фиксируется по высоте в вертикальной плоскости. В горизонтальной плоскости передвижение трубы 5 происходит с помощью крючков 12 вдоль паза 14, наклон труб 8 – с помощью реек 17.

При формовке в парных опоках опока устанавливается на облицованной пленкой плиту с моделью 18 (метод ВПФ). При формовке по методу ЛГМ в контейнерной опоке на дне создают песчаную постель, на которую помещают разовую модель, а затем устанавливают систему трубчатых вакуум-фильтров (рис. 3). После этого опоку заполняют формовочной смесью, как правило, состоящей из оборотного и свежего кварцевого песка, уплотняют ее вибрацией, герметизируют, покрывая синтетической пленкой, и подключают к вакуум-системе. В полученной форме создается разрежение воздуха, упрочняющее и удерживающее смесь вместе с системой вакуум-фильтров.

При ВПФ известным способом собирают форму, как правило, из двух полуформ, при ЛГМ форму выполняют в одном контейнере, часто модельный блок (кластер) состоит из нескольких разовых моделей отдельных отливок, а в контейнере формируют обычно от одного до нескольких таких блоков. Описанная конструкция опоки позволяет передвижными вакуум-фильтрами оптимально создать разрежение в толще песчаной смеси, обеспечивая эффективное вакуумирование на границе металл-форма, для получения отливок сложной конфигурации или целого ряда отливок в многоместной форме с одной или несколькими литниковыми воронками, заливаемыми поочередно.

Рассмотренные выше конструкции оснастки [5, 6] можно использовать без ограничений на любом предприятии, поскольку срок действия патентов истек. Однако совершенствование оснастки проводится не только в направлении оптимизации режима вакуумирования песка, но и методов его уплотнения. Качество поверхности и точность отливок в том числе зависят от равномерного заполнения опочного пространства вокруг модели песком и его уплотнения до максимальной плотности (невозрастающей при дальнейшей вибрации) в кратковременных операциях заполнения опоки и виброуплотнения в контакте с опочной и модельной оснасткой. Особенно это актуально для литья по разовым моделям, в частности, по пенополистирольным и ледяным моделям, которые часто имеют глухие или весьма сложной конфигурации каналы, выполняемые без стержней. Описанный ниже способ формовки по разовым моделям позволяет подавать и уплотнять песок в формы со стороны двух контрладов без опасения деформации модели за счет того, что часть модельной оснастки выполняют «мягкой» [7].

Такому решению предшествовало ряд исследований и аргументов. Известны трудности заполнения песком формообразующей полости разовой модели с нижними отверстиями, которые обычно называют поднутрениями модели, когда отверстие, через которое подается песок, ниже самой полости или ее потолка [8]. По мере распространения способа литья по разовым моделям при изготовлении отливок с поднутрениями и сложнопрофильными каналами (например, отливки деталей автотракторных двигателей, распределителей гидравлических систем, коробок передач и т. п.), особенно при мелкосерийном и разо-

вом производстве, трудно получить потолочные части поднутрений заполненными уплотненным песком. Это приводит к нарушению точности отливки и появлению дефектов, обычно в виде металлических наплывов, наростов и механического пригара. В таких местах песок может не попасть до потолочной стенки модели, где нужно еще и его уплотнение.

Способы формовки по разовым моделям в сыпучем песке развиваются еще с 70-х годов прошлого века. Однако один из создателей научной школы по этой технологии В. С. Шуляк отмечал, что уплотнение сухого песка при формовании модельного блока является важнейшей операцией этого процесса. В настоящее время отсутствует единое мнение по выбору режимов вибрации форм для моделей сложной конфигурации [9]. Неоднозначность технологических решений в вопросах обеспечения качества уплотнения формы ограничивает применение рассматриваемых способов литья по разовым моделям для производства отливок сложной конфигурации.

Известен эффективный быстродействующий способ вибропрессования формовочных наполнителей путем сочетания вибрационных нагрузок и давления на верхнюю поверхность формы [10]. Его применяют на вибрационном формовочном столе с наложением груза сверху на песчаную поверхность формы, реже пневмодавления через гибкую диафрагму. Однако при мелкосерийной формовке по разовым моделям, особенно если их размещают по несколько штук в опоке и каждая с моделью стояка (нередко с выпором или прибылью), который выходит на поверхность (контрлад) формы, крайне неудобно размещать грузы на этой поверхности песка из-за опасности повреждения моделей. Это затрудняет применение последнего способа для формовки по разовым моделям, поэтому нагрузку на формовочную смесь для таких способов практически не применяют, а при формовке по постоянным моделям это усложняет модельную оснастку (например, необходимо применение моделей воронок подвижных по оси стояка). Некачественное уплотнение верхних слоев формы затрудняет выполнение воронок в теле формы, которые могут быть размыты металлом, поэтому для таких форм применяют приставные, отдельно изготовленные заливочные воронки или чаши, что увеличивает трудо- и материалоемкость процесса литья.

Для достижения высокой степени уплотнения песка, в частности для сложных фасонных отливок с каналами, верхнюю часть модели стояка (выпора, прибыли) предложено выполнять из сыпучего материала, деформируемого в процессе уплотнения [7]. Сыпучим материалом заполняли на 70–80% мешок конусной формы, равный по размеру воронке, и завязывали. Верхнюю часть модели стояка выполняли в виде трубки – шаблона и помещали туда мешок. При подаче формовочного песка в опоку этот шаблон может быть выполнен в виде цилиндра, конуса или цилиндра с расширением на конус для получения литейной воронки различной конфигурации. После заполнения песком опоки трубчатый или конический шаблон удаляли, при этом форму мешка поддерживал окружающий песок, на который затем устанавливали груз.

При вибрационном уплотнении песка формы с установленным на нем грузом сыпучий материал деформировался вместе с осаждением песка. Кроме применения шаблона, в период заполнения песком опоки исходную форму мешка из синтетической или резиновой пленки предложено закреплять другим способом – вакуумированием сыпучего материала в герметичном мешке аналогично песчаному стержню по методу ВПФ. Мешки из синтетической пленки или резиновые с сыпучим материалом легко вакуумировать путем подачи разрежения по тонкой трубке от вакуум-насоса в полость газонепроницаемого мешка с герметичным зажиманием или запайкой пленки мешка. После засыпки формы песком вакуумирование прекращают, а сыпучий материал в мешке деформируют в массе песка без опасности поломки модельного блока. В качестве сыпучего материала могут применять формовочный песок или сыпучий, жидкоподвижный материал разовой модели. При применении сыпучего материала в мешке (из ткани), который вкладывают в другой мешок (из синтетической пленки), первый из этих мешков с сыпучим материалом применяется многократно (как многоцветная модель), а другой своей пленкой герметизирует отформованную при этом воронку.

Объем сыпучего материала для мешка в уплотненном состоянии для верхней части моделей стояка принимали равным объему полости воронки или чаши для заливки металлом полости формы. Так как при вибрации происходит значительное уплотнение песка на величину, составляющую до 20% объема его свободной засыпки [8, с. 77], то песок при уплотнении в опоке оседает сверху вниз. Установленный груз прессует песок, повышает равномерность его уплотнения по высоте формы, особенно в верхних ее слоях. В процессе формирования груз не повреждает разовые модели, деформируя «мягкую» часть модели литниковой системы. Сыпучий материал тела стояка сжимается вниз и расширяется в стороны по форме конуса мешка. Для разовых вариантов применялись недорогие упаковочные мешки.

При засыпании в мешок в качестве сыпучего материала формовочного песка он по обе стороны пленки (полотна) мешка при виброуплотнении и деформации «ведет себя» одинаково, имея со средой формы одинаковую плотность. При необходимости его можно отсыпать из мешка прямо в окружающую опоку или досыпать в процессе формовки для поддержания одинакового уровня. Сыпучий материал из гранул или измельченного пенополистирола всегда легко получить на участках ЛГМ. Он легче кварцевого песка и легко деформируется в мешке благодаря невысокой прочности надежно защищает стояк от разрушения давлением, создаваемым грузом, а также может не извлекаться с мешком из формы и газифицироваться в процессе заливки вместе с моделью из такого же материала. Формовку по пенополистирольным моделям выполняли с элементами ВПФ в варианте применения двух мешков. Внутренний мешок служил носителем сыпучего материала, а внешний оставался на поверхности образуемой воронки при смыкании с пленкой, укладываемой на верхнюю поверхность формы.

В зависимости от размера формы испытаны шаблоны и вакуумируемые «мягкие» надставки высотой 50–100 мм для стояков, расположенные на 0–30 мм выше потолка разовой модели. После виброуплотнения формовочной смеси и снятия груза цилиндрические и конические надставки были уменьшены по высоте, а также расширили проходное отверстие стояка в месте их расположения.

В случае применения разового мешка из пленки с песком сыпучий материал после виброуплотнения песка формы удаляли пылесосом. Деформация мешка позволила расширить отверстия до уровня воронки, в которую затем заливался металл. Возможно нанесение на пленку такой воронки быстросохнущей противопожарной краски перед заливкой формы металлом. При вакуумировании формы после удаления сыпучего материала возможна проверка размера отверстия и расширения отверстия образованной воронки ручной конусной оправкой. В период накопления форм перед заливкой можно установить в воронку готовой формы оправку или мешок с песком для фиксации воронки и выключить вакуум. Непосредственно перед заливкой включали вакуумирование форм и открывали их воронки.

Шаблоны изготавливали из тонкого листа плотной бумаги, картона, пластика, фольги или жести. Фиксирование шаблона на пенопластовом стояке выполняли за счет сил трения, также применяли полоски непрочной бумаги, которые рвутся при удалении шаблона из формы. Около 20–30% полости мешка оставляли незаполненной для легкого перемещения в нем сыпучего материала при деформации, и размещали мешки в полости шаблона сложенными подобно сифону или «гармошке». Сверху мешок завязывали, выполняя петлю для удобства транспортировки. Мешки можно изготавливать из материала контрастного цвета к цвету песка для контроля стыка пленок мешка и контрлада. В случае выполнения большой чаши для крупных отливок дополнительно к мешку, оформляющем стояк, можно укладывать другой мешок или накладную модель чаши, которую вдавливают грузом, формируя при вибрации полость этой чаши.

Для формовки моделей деталей двигателей, гидрораспределителей, насосов, коробок передач и т. п., требующих особо тщательного уплотнения песка способом, описанным в [7], предложен метод двустороннего уплотнения песка по разовой модели с применением рамочной опоки (со средствами вакуумирования) и герметизацией песка с обеих сторон опоки (формы) синтетической пленкой. Метод такого уплотнения включает следующие основные операции. На вибростол помещают синтетическую пленку и ставят рамочную опоку, засыпают песчаную постель и помещают разовую модель, засыпают опоку песком одновременно с вибрацией, на песок ставят груз и с ним виброуплотняют, груз снимают, досыпают до верхнего торца опоки песок и покрывают его синтетической пленкой. Затем к форме подключают вакуум, краном поворачивают форму на 180° (кантуют) и устанавливают на вибростол. Далее вакуум отключают, верхнюю пленку снимают, ставят груз и виброуплотняют снова, груз снимают, досыпают песок, герметизируют пленкой сверху песок, вакуумируют с двух сторон загерметизированную пленкой форму и перевозят ее на место заливки, поворачивая форму воронкой вверх. Под вакуумом выполняют работы по оформлению воронки. Для предотвращения высыпания песка под нижнюю пленку ставят рамку для прижимания пленки к торцу опоки по периметру.

При заливке формы снизу под давлением (например, по патенту [11]) модель стояка выводят вниз, а для гравитационной заливки сверху с кантованием на 180° один раз изначально следует формовать с установкой модели при выводе стояка вниз, тогда при кантовании он окажется на верхней поверхности формы. Либо при традиционной установке модели в форму последнюю указанным образом кантуют дважды. Кантовка формы при двустороннем уплотнении позволила два раза оказать воздействие на зерна песка, суммируя гравитационные и вибрационные силы с силами от давления груза. На примере формовки модели гидравлического распределителя описанным способом обеспечивали движение песка

в двух противоположных направлениях, что улучшало заполнение каналов модели и повышало равномерность уплотнения песка. Материальное обеспечение способа не требует привлечения оборудования, не характерного для цехов такого вида литья, только в этом случае добавляются простая оснастка и незначительные трудозатраты.

Литература

1. Шинский О. И. Снижение металлоемкости литейной продукции – основа развития отрасли // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2011. № 1. С. 78–79.
2. Иванов В. В. Теоретические и технологические основы изготовления качественных отливок в вакуумно-пленочных формах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Комсомольск-на-Амуре, 2006. 40 с.
3. Дорошенко В. С. Новые конструкции опочной оснастки для вакуумно-пленочной формовки / В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко // Сб. ЦНИИТЭстроймаш. М., 1990. Вып. 5. С. 1–11.
4. Дорошенко В. С. Современные тенденции конструирования опочной оснастки для ЛГМ / В. С. Дорошенко, К. Х. Бердыев // Металл и литье Украины. 2011. № 4. С. 24–29.
5. А. с. 1423263 СССР: МКИ В22С 21/00. Опока для вакуумно-пленочной формовки / В. С. Дорошенко, В. Т. Барский, И. А. Мартынов. Оpubл. 1988. Бюл. № 34.
6. А. с. 1423264 СССР: МКИ В22С 21/00. Опока для вакуумно-пленочной формовки / В. С. Дорошенко, В. Т. Барский, И. А. Мартынов. Оpubл. 1988. Бюл. № 34.
7. Пат. 82837 Украина: МПК В22С 9/02. Способ формования / О. И. Шинский, В. С. Дорошенко. Оpubл. 2013. Бюл. 15.
8. Литье по газифицируемым моделям / Под ред. Ю. А. Степанова. М.: Машиностроение, 1976. С. 140–141.
9. Шуляк В. С. О состоянии и развитии производства отливок литьем по газифицируемым моделям в России // Сб. тр. 1-й Междунар. науч.-практ. конф. «Литье по газифицируемым моделям». СПб., 2007. 58 с.
10. Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов. М.: Машиностроение, 1977. С. 42.
11. Пат. 93723 Украина: МПК В22D 18/06, 18/04, 18/08, 27/13, 27/15, В22С 9/04. Способ литья металла по одноразовым моделям в песчаную форму под действием перепада давления / О. И. Шинский, В. С. Дорошенко. Оpubл. 2013. Бюл. 15.

References

1. Shinskij O. I. Snizhenie metalloemkosti litejnoj produkcii – osnova razvitija otrasli [Reduction of metal casting products – the basis of development of the industry]. *Oborudovanie i instrument dlja professionalov = Equipment and tools for professionals*. 2011, no. 1, pp. 78–79.
2. Ivanov V. V. Teoreticheskie i tehnologicheskie osnovy izgotovlenija kachestvennyh otlivok v vakuumno-plenochnyh formah. Diss. dokt. techn. nauk. [Theoretical and technological bases of manufacture of high-quality castings in a vacuum-film forms. Dr. techn. sci diss]. Komsomol'sk-na-Amure, 2006, 40 p.
3. Doroshenko V. S., Shejko N. I. *Novye konstrukcii opochnoj osnastki dlja vakuumno-plenochnoj formovki* [New designs flask equipment for vacuum-film forming]. Moscow, 1990, Вып. 5, pp. 1–11.
4. Doroshenko V. S., Berdyev K. H. *Sovremennye tendencii konstruirovaniya opochnoj osnastki dlja LGM* [Modern trends in the construction of tooling for LGM flask]. *Metall i lit'e Ukrainy = Metal and casting of Ukraine*, 2011, no. 4, pp. 24–29.
5. Doroshenko V. S., Barskij V. T., Martynov I. A. *Opoka dlja vakuumno-plenochnoj formovki* [Flask for vacuum-film forming]. A. s. 1423263 SSSR, no. 34, 1988.
6. Doroshenko V. S., Barskij V. T., Martynov I. A. *Opoka dlja vakuumno-plenochnoj formovki* [Flask for vacuum-film forming]. A. s. 1423264 SSSR, no. 34, 1988.
7. Shinskij O. I., Doroshenko V. S. *Sposob formovaniya* [The molding process]. Patent Ukraine, no. 82837, 2013.
8. *Lit'e po gazificiruемым modeljam* [Lost foam casting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976, pp. 140–141.
9. Shuljak V. S. *O sostojanii i razvitii proizvodstva otlivok lit'jom po gazificiruемым modeljam v Rossii* [On the status and development of the production of castings casting on gasified models in Russia]. *Trudy I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Lit'jo po gazificiruемым modeljam» = I Proceedings of the International scientific and practical conference «lost-foam casting»*. 2007, 58 p.
10. Aksekov P. N. *Oborudovanie litejnyh cehov* [Foundry]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977, 42 p.
11. Shinskij O. I., Doroshenko V. S. *Sposob lit'ja metalla po odnorazovym modeljam v peschanuju formu pod dejstviem perepada davlenija* [Metal casting process according disposable models sand mold under pressure drop]. Patent Ukraine, no. 93723, 2013.