

СОВРЕМЕННАЯ ОПОЧНАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Опочная оснастка для ЛГМ обладает рядом конструктивных особенностей, которые описаны в статье. Эту оснастку используют в действующих литейных цехах. Модернизация литейного производства при переходе на качественно новую ступень технологического использования науки и экологической культуры, чем является ЛГМ в вакуумируемые формы из песка без связующего, востребует эти технические разработки.

В последних публикациях России литейной тематики по мере выхода из экономического кризиса усилилось внимание к проблемам модернизации литейного производства. Среди формовочных процессов предпочтение отдаётся новым видам песчано-глинистой сырой формовки и ХТС. Объём выпуска отливок способом ВПФ прогнозируется в районе 3%. При этом практически не уделяется внимание процессу литья по газифицируемым моделям (ЛГМ). Многолетний опыт изготовления отливок развесом 0,1 - 2000 кг, постоянное совершенствование технологии ЛГМ институтом ФТИМС НАН Украины и организация ряда цехов с поставкой для них полного комплекта оборудования производительностью 100 - 5000 тонн отливок в год свидетельствует о значительном неиспользуемом потенциале ЛГМ. Последние работы института по литью крупных стальных отливок массой до 6 т для ремонта МНЛЗ разновидностью ЛГМ-процесса (называемой Full Mold Process) с использованием холоднотвердеющих, в т.ч. жидкоподвижных - ЖСС смесей [1] показали, что сфера действия ЛГМ может охватывать почти всю традиционную песчаную формовку.

Кроме того, быстро прогрессируя, ЛГМ-процесс достиг высокой гибкости технологии изготовления моделей из, пожалуй, наиболее легко обрабатываемого среди современных твёрдых промышленных материалов – пенополистирола (ППС). Она включает четыре взаимодополняющих варианта: на 3D-фрезерах, в пресс-формах на полуавтоматах или в автоклавах, а также на столах с нагретой струной. Короткая продолжительность формовки, состоящая в засыпке сухим песком моделей в контейнерных опоках с виброуплотнением до двух минут, соответствует этой тенденции гибкости независимо от того, индивидуальное это производство отливок или крупносерийное. Тому же способствует ускоряющая технологическую подготовку практика использования программного проектирования и производства литой алюминиевой модельной оснастки способом ЛГМ для серийного производства отливок этим же способом.

Слабое внедрение ЛГМ в отечественное производство (и стран СНГ) можно объяснить недостаточной осведомлённостью литейщиков и промышленников о несложных принципах регулирования газового давления на границе металл-форма по законам газодинамики и гидравлики, о наличии достаточно простого преимущественно отечественного оборудования для модельного и формовочного производства. Недопонимание физики пока ещё малопопулярного в производстве СНГ процесса ЛГМ, включая принцип «работы» вакуумируемой опочной оснастки, даёт предпочтение знакомой традиционной формовке со связующим при выборе технологических процессов для модернизации цехов. Тем более при обильной рекламе импортёров оборудования для ХТС, даже при том, что в последующем при эксплуатации выясняется, что стоимость смоляной связующей композиции достигает до \$500 на тонну литья. Применение смесей со связующим сопровождается неблагоприятной экологией литейного цеха и малопривлекательностью труда в нём, если его не переводят на качественно новый уровень экологической культуры.

Применению вакуума в форме при ЛГМ предшествовало то, что газы от деструкции ППС модели отводились через перфорации опок и проколы в песчаном наполнителе в атмосферу цеха,

что по сегодняшним меркам просто недопустимо. Дальнейшие исследования физико-химии технологии ЛГМ, гидродинамики процесса с подвижным фронтом газификации модели как химического и фазового источника газовыделения, теории фильтрации песка при применении вакуума дали новые положительные результаты для получения качественных отливок и повышения экологии производства. Проведённые специалистами ФТИМС НАНУ научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, большая часть которых была осуществлена под руководством профессора О. И. Шинского, определили параметры необходимого вакуума в формах в процессе заполнения их металлом, включая саморегулирующее действие на заливаемый металл давления продуктов газификации с учётом заданного режима фильтрации этих продуктов вглубь вакуумируемого песка. Это привело к созданию ряда новых разновидностей этого способа литья и соответствующего технологического оборудования, стабильно обеспечивающего целостность литейной формы при заливке при получении точных отливок с качественной поверхностью.

При ЛГМ технологические операции, определяющие получение отливок с наименьшими трудовыми и материальными затратами, обычно выполняют в такой последовательности: 1) проектирование технологии литья с выбором положения модели в форме, вида и размеров литниково-питающей системы (ЛПС); 2) получение моделей; 3) формовка; 4) плавка металла нужной марки и заливка им формы. Анализ работы цехов и участков ЛГМ показывает, что качество отливок обычно зависит: до ~50% – от качества модели, собранного модельного блока, его покрытия специальной краской (т.е., от соблюдения технологии изготовления модели); до ~25% – от положения модельного блока/куста в литейных контейнерах, качества формовочного материала – песка, степени его виброуплотнения и герметизации (т.е. от режима формовки); до ~25% – от работы вакуумной системы при отсосе газов деструкции ППС во время заливки, температуры и качества жидкого металла, от поддержания заданной скорости заливки в правильно подобранной ЛПС. Две последние группы факторов касаются правильного выбора для каждого типажа моделей контейнерной опочной оснастки и её функционирования.

Затраты при единичном изготовлении модели в среднем составляют до 20% и более, от всей стоимости отливки. Подробнее рассмотрим цикл формовки, который при ЛГМ включает следующие технологические операции:

- 1) подача очищенного и обеспыленного формовочного материала – кварцевого песка в контейнер (с содержанием пылевидных частиц до 8% и с температурой ниже 40°C);
- 2) создание песчаной «постели» в литейном контейнере;
- 3) контроль формовщиком модели/модельного блока (куста) с ЛПС на отсутствие отслоений противопопригарного покрытия, щелей в местах склейки частей модели, стояка, питателей, прибылей и др.;
- 4) установка модели/блока на «постель» в контейнере;
- 5) послонная засыпка контейнера с виброуплотнением для заполнения песком полостей модели (которые в традиционных формах со связующим, изготовленных по постоянным моделям, выполняют стержнями).

6) герметизация контейнера с установкой литейной чаши, а также засыпка защитного слоя песка на герметизирующую плёнку от прожога каплями жидкого металла при заливке;

7) транспортирование контейнерной формы на заливочный плац и подключение её к рукаву вакуумной системы, с последующим включением вакуумного насоса лишь на период заливки с выдержкой 0,5 - 5 мин. после неё для затвердевания отливки.

При литье деталей мелкого развеса на кусте могут быть десятки моделей. При неправильном составлении куста часть моделей может сдестформироваться от тепла ранее залитых отливок на этом кусте. Кроме этого, нарушение равномерности откачки газов - продуктов деструкции моделей приводит к таким видам брака, как недолив, газовые раковины, ужимы, пригар и т.д. Поддерживать заданный режим вакуумирования на границе металл-форма, а также быть ёмкостью для удобного засыпания-высыпания, удержания и уплотнения песка литейной формы, фиксирующего фасонную поверхность отливки и служащего опорой для жидкого металла, твердеющего в отливку, есть функции опочной оснастки. Её ещё можно рассматривать как продолжение вакуумной системы литейного участка в виде герметичной ячейки. Очевидно, что вместе оснастка, уплотнённый песок и модель составляют литейную форму. Задачей конструирования такой оснастки является обеспечение указанных функций с минимальными затратами. Ранее конструкции вакуумируемой оснастки рассматривались, прежде всего, для ВПФ [4], описания таких контейнеров для ЛГМ авторам не известны.

За время внедрения ЛГМ-процесса в литейном цехе ФТИМС НАН Украины и других предприятиях созданы вакуумируемые литейные контейнеры (ЛК) различных форм и конструкций. Приводим их описания и достоинства по опыту эксплуатации ЛГМ разной серийности на различных предприятиях в различных странах.

Первые конструкции ЛК были без средств вакуумирования, для чего использовали традиционные опоки [1], либо герметично сваренные ящики. Спустя два десятилетия для форм из песка без связующего в 80-х годах прошлого века применили вакуумирование, что стабилизировало прочность формы, стало обязательным фактором для получения высококачественных отливок, а также кардинально улучшило экологию литья.

Первые контейнеры цилиндрической или прямоугольной формы имели каналы различной формы или перфорированные профили с закрывающими их сетками для защиты от проникновения песка. Использовали сетки с мелкими ячейками или более крупные в несколько слоёв. Мелкие частицы песка, уносимые газами деструкции, попадая в каналы вместе с конденсацией газообразных продуктов ППС, со временем резко уменьшают проходное сечение. Конструкция первых контейнеров с сетчатыми стенками приведена на рис. 1. Для предотвращения ухудшения условий откачки регулярно разбирали и очищали каналы, сетки. По этой причине также типы ЛК хотя просты конструктивно и недороги при изготовлении, но в эксплуатации более трудозатратны. Основным недостатком ЛК такой конструкции является разноудалённость различных частей модели от сетчатого фильтра, что приводит к неравномерности эвакуации газов де-

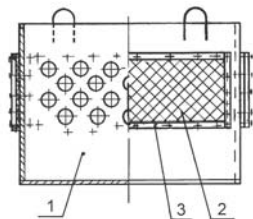


Рис. 1. Контейнер с вентиляруемыми стенками без вакуумирования. 1 - корпус с перфорацией, 2 - сетка, 3 - рамка прижимная.

струкции модели. Особенно сложно осуществить оптимальный вывод газов, когда отливка крупная, сложной конфигурации и с отверстием и полостями в середине. С целью устранения этого недостатка в середину ЛК установили перфорированную обтянутую сеткой прямоугольную трубу (рис. 2). В ЛК такой конструкции условия получения отливок при ЛГМ более приближены к требуемым.

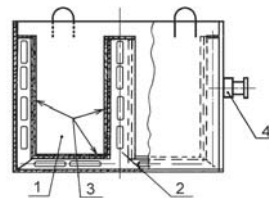


Рис. 2. ЛК с фигурной системой вакуумирования. 1 - корпус, 2 - стойки, 3 - сетка, 4 - узел (штуцер) вакуумирования.

Работы по усовершенствованию конструкций ЛК, проведенные конструкторами и технологами ФТИМС, привели к использованию стандартных гибких спиральных труб, имеющих перфорацию или межвитковые щели. Они укладываются по высоте в несколько слоёв по бортам ЛК в специальные перфорированные профили, а их концы соединены в общий короб с патрубком, к которому подсоединяется вакуумная система. Расстояние между слоями спиральных труб не превышает 800 мм. Используемые ЛК такой конструкции оказались более эффективными. Дальнейшая модификация привела к отказу укладки гибкого трубопровода в перфорированные угольники, трубы, гнутые П-образные профили, а навеска его - на специальные крюки из круга или листа. Это позволяет легко снимать гибкие трубы и укладывать их вокруг и внутри модели на требуемых расстояниях. Увеличивается откачиваемость газов, что определяет выход качественных отливок (брак 2 - 3%) без науглероживания и газовых раковин. Эти ЛК можно использовать для получения отливок различного развеса со сложными формами. Основание (дно) контейнера из толстого листа обеспечивает равномерный контакт с плитой вибростола, а также использование рольгангов приводных и бесприводных для перемещения между технологическими площадками формовочно-заливочного участка.

Последние модели ЛК имеют донную разгрузку при помощи рычажного механизма. Их удобно перемещать, они высокоэффективны для литья с вакуумированием, в процессе выполнения технологических операций легко перемещаются по замкнутой конвейерной рольганговой системе (с приводом или без) литейного цеха в количестве до нескольких десятков штук, быстро высыпаются без опрокидывания, что улучшает санитарно-гигиенические условия из-за устранения запылённости воздуха на участке выбивки. Такая конструкция ЛК приведена на рис. 3. Опыт эксплуатации этих ЛК в цехе ЛГМ производительностью до 5000 т отливок в год показал их высокую универсальность и надёжность.

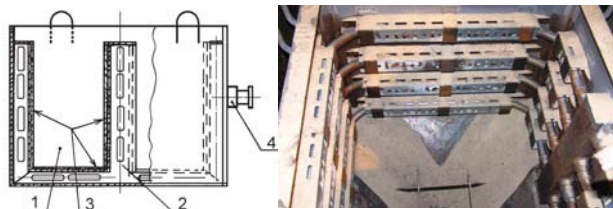


Рис. 3 ЛК с донной разгрузкой: а) эскиз, б) фото сверху ЛК с 4-мя рядами гибких рукавов.

1 - дно; 2 - донная часть; 3 - узел выгрузки; 4 - стойки; 5 - боковые стенки; 6 - гибкие рукава; 7 - защитные профили; 8 - усилительные ребра; 9 - узел вакуумирования.

Для серийного получения крупногабаритных пространственных отливок, например, боковых рам тележек вагонов, валков прокатных станков, трубчатых элементов скважинной запорной арматуры, корпусов («улиток») насосов часто делают специальные литейные контейнеры. А для разовых отливок могут применять различные металлические ящики, навесив на их стенки гибкие трубчатые фильтры и загерметизировав плёнкой возможные щели на стенках (например, челюстных контейнеров). В этих случаях делать элементы донной разгрузки не всегда возможно и не целесообразно. Элементы вакуумной системы, гибкие спиральные трубы и соединения рассчитываются исходя из объёма газов деструкции. Они должны обеспечивать равномерность откачки, быть равноудалёнными от стенок модели/отливки. Конструкция ЛК должна быть жёсткой, т. к. в отличие от традиционного способа литья в песчано-глинистые формы, ЛГМ-процесс позволяет разделение технологических площадок (участков) – формовки, заливки, выбивки, очистки и др. при перемещении формы в ЛК между которыми (например, с плаца формовки на заливочный плац) модели из ППС, особенно ажурные и тонкостенные, при деформации стенок ЛК могут повредиться, а ЛПС отломаться.

На предприятиях, где отливки цилиндрической формы составляют значительную часть производственной программы, обычно применяют ЛК цилиндрической формы, высота которых должна превышать максимальную длину детали. Получение крупногабаритных отливок со сквозными или глухими полостями в теле представляет определённую трудность из-за опасности обрушения песка при заливке или искривления модели при формовке или перемещении контейнера вдоль плаца. В таких случаях усиливают жёсткость ППС модели установкой металлических стержней в песке рядом или в полости модели, заполненной песком. Технологи-формовщики ФТИМС разработали ряд различных способов повышения жёсткости моделей с габаритами 2 и более метров, что позволяет получать стабильно качественные крупногабаритные сравнительно тонкостенные отливки массой до 1 - 1,5 т без опасности их коробления.

Как указано выше, получение качественных отливок методом ЛГМ аналогично всем литейным технологиям, зависит от многих технологических факторов. Поскольку фактор качества модели при ЛГМ является определяющим, а стоимость модели, особенно при индивидуальном литье, может существенно влиять на стоимость отливки, следует тщательно выполнять операции формовки и заливки, чтобы зря не испортить модель. Это часто зависит от конструкции применяемого оборудования и оснастки. С учётом вышеприведённой аргументации, конструкция ЛК должна удовлетворять следующим требованиям: 1) жёсткость, 2) герметичность, 3) равномерность вакуумирования по поверхности модели или по объёму песка (подробнее см. [2]), 4) удобство эксплуатации, включая требования безопасности труда и экологии, 5) ремонтпригодность, 6) долговечность при эксплуатации и вибровоздействии, а также невысокая стоимость.

Основной технологический фактор формовки при ЛГМ – газовое разрежение N_2 в порах песчаного наполнителя, которое не только влияет на прочность формы, но и на качество отливок, появление дефектов. Вопросы оптимизации вакуумирования для получения отливок из цветных и чёрных сплавов рассмотрены в статьях [2 и 3]. Необходимость жёсткой конструкции обусловлена тем, что на вакуумируемый контейнер при эксплуатации действуют силы внешнего атмосферного давления, а также вибро-транспортные воздействия и возмо-

жен контакт с расплавом металла. При заливке усилия, действующие на ЛК, состоят из: 1) газового давления 30 - 70 кПа на наружную поверхность от разницы атмосферного давления и вакуума; 2) сил термического расширения формовочного песка и его веса; 3) веса заливаемого металла.

На поверхность контейнера размерами 0,6 x 0,6 м и высотой 0,5 м сжимающая сила при вакуумировании составляет 4,7 - 11,0 т, а в сумме элементы конструкции ЛК воспринимают значительные силы – сжатия, растяжения, изгиба и комбинированные. Во ФТИМС проводится анализ эксплуатации ЛК и постоянно модернизируется их конструкция. При формовке для заполнения полостей модели/модельных кустов песком, ЛК с песком вибрируют, увеличивая текучесть и создавая эффект псевдожидкости песка. Большинство имеющихся виброустановок имеют однонаправленное вибрирующее усилие, которое может не обеспечивать полноту заполнения полостей модели. При разработке нового вибростола были учтены потребности формовки сложных пустотелых ППС моделей, и он имеет 3-осевое направление колебательных сил, что вызывает необходимость полного соприкосновения дна ЛК с плоскостью стола. Этим вызвано изготовление из толстой листовой стали основания контейнера.

Боковые стенки ЛК изготавливают из листов толщиной 2,5 - 4,0 мм и усиливают уголками. Донный разгрузочный узел с вакуумным уплотнением облегчает разгрузку ЛК (рис. 3) и даёт возможность встроить операцию выбивки в единый транспортный поток или конвейер, а также упрощает конструкцию вытяжных вентиляционных систем. Нижняя внутренняя часть такого ЛК имеет вид усечённой пирамиды. При вибрации, из-за разложения вынуждающих сил в 3-осевом направлении, частицы песка могут перемещаться винтообразно и полностью заполнить пустоты и каналы по конфигурации модели. Уклон стенки донной части даёт песку легко высыпаться, однако придание нижней части профиля ломаной линии с горизонтальной и пирамидальной частью позволяет сохранять часть песка для постели под модель и уменьшает объём песка, участвующего в пескообороте.

Описанные конструкции ЛК для ЛГМ служат в литейных цехах, где освоена эта перспективная технология. Модернизация литейных цехов с традиционной формовкой со связующим неизбежно востребует их при переходе на новую ступень технологического использования науки и экологической культуры.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дорошенко В.С. Получение крупных стальных отливок по газифицируемому моделям в формах из жидкоподвижных самотвердеющих смесей//Станочный парк. СПб. 2010. № 4. С. 48 - 50.
2. Дорошенко В.С., Шейко Н.И. Критерии выбора конструкций опок для вакуумно-плёночной формовки//Литейное производство. 1988. № 7. С. 25 - 26.
3. Иванов В.В. и др. Влияние геометрии внутренних стенок опоки на разряжение в ВПФ//Литейное производство. 2006. № 8. С. 12 - 13.

*В. С. Дорошенко (dorosh@inbox.ru), К.Х. Бердыев.
Физико-технологический институт металлов
и сплавов НАН Украины.*