

# ПОЛУЧЕНИЕ КРУПНЫХ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ В ФОРМАХ ИЗ ЖИДКОПОДВИЖНЫХ САМОТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ

*Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) из пенополистирола по точности и качеству отливок, условиям труда и экологической безопасности может быть отнесено к высоким технологиям литейного производства. Несмотря на то, что этой технологии уже более 50 лет (изобретение Г. Шроера) [1], она до сих пор применяется в литейном производстве в разных странах мира. Изобретение А. Чудновского [2] положило начало работ по ЛГМ в СССР, позволив считать отечественных литейщиков одними из соавторов этого технологического процесса, причём заметный вклад и активные работы по его совершенствованию до настоящего времени связаны с научным коллективом Физико-технологического института металлов и сплавов НАН, Украины.*

Сегодня наиболее широко ЛГМ-процесс применим с вакуумированием формы из сухого песка без связующего, когда одноразовую пенополистироловую модель газифицируют (замещают) заливаемым металлом, а внутриформенное разрежение (на уровне 50 кПа) создаёт направленный газотвод. Однако также в виде одного из первых вариантов этой технологии для производства крупных и тяжёлых отливок по таким моделям всё шире используют формовочные песчаные смеси со связующим («Full Mold Process»). Среди таких смесей наиболее подходящими оказались жидкоподвижные самотвердеющие смеси (ЖСС), не требующие динамического уплотнения, что важно по причине невысокой прочности материала и легкой деформируемости модели (плотностью ~25 кг/м<sup>3</sup>) под действием внешних нагрузок, которые во время формовки обычно не должны превышать 1 кг/см<sup>2</sup>.

Такие методы формовки как встряхивание, прессование, формовка пескомётom и др. неприемлемы для производства отливок по моделям из пенополистирола. Даже формовку ручными простыми и пневматическими трамбовками нужно выполнять очень осторожно, чтобы не повредить модель. Это делает такие методы нежелательными для серийного производства. Лучше всего применимы сыпучие или жидкоподвижные самотвердеющие смеси, не требующие дополнительного уплотнения или для уплотнения которых достаточно вибрации. Песчано-глинистая формовочная смесь не обладает всеми указанными свойствами, поэтому её редко применяют для данного метода литья.

ЖСС впервые были получены одновременно российскими и украинскими литейщиками [3]. Технологии ЖСС и ЛГМ почти «ровесники», обе по яркости неординарных технических решений заслуживают вхождения в первую пятёрку рейтинга замечательных литейных технологий прошлого века, если такой будет составлен. Мы вправе гордиться значительным вкладом отечественных учёных в создание ряда разновидностей этих технологий.

Совместное применение ЖСС и ЛГМ усложняет процесс литья путём «наложения» факторов, свойственных обоим технологиям, создавая ряд особенных обстоятельств, которые, в частности газовый режим литейной формы, предполагают выяснение технологом-литейщиком закономерностей многофакторных взаимозависимых составляющих физико-химических, газо- и гидродинамических процессов с целью обеспечения стабильного качества получаемых отливок. При изготовлении отливок в формах со связующим собственный газовый режим литейной формы (будь она полый) допол-

няется мощным источником газовой выделению (с подвижным фронтом) в виде продуктов газификации пенополистирола модели теплом заливаемого металла. Причём этот дополнительный источник газов может многократно превышать поток газов от формовочного материала.

В этой связи весьма важное качественное решение проблемы создания направленного вывода газов из полости формы во время деструкции модели в форме со связующим при одновременном дожигании этих газов до экологически безопасного уровня выполнено в соответствии с изобретением [4]. Оно позволяет сообщить газовыводные каналы, выходящие на контрлад литейной формы, с пространством между моделью и зеркалом заливаемого металла. Рассмотрим, с точки зрения оптимизации газового режима литейной формы, предпосылки и результаты начального этапа работ по совместному использованию указанных технологий в производственных условиях Киевского завода «Большевик», где впервые были применены ЖСС [3].

К началу проведения работ техническое обследование уровня состояния технологии формовки из ЖСС в сталелитейном цехе завода показало, что литейные формы подвергаются подсушке в сушиле или переносной горелкой, которая изначально не предусмотрена технологической инструкцией и понижает эффективность технологии ЖСС, внося дополнительные энерго- и трудозатраты. Причина подсушки – повышенные влажность и газотворность в сочетании с пониженной газопроницаемостью затвердевшей смеси, повышающие вероятность «кипения» литейных форм при заливке металлом, а также низкая прочность смеси. В свою очередь, повышение влажности вызвано передозировкой жидкой композиции для увеличения текучести и прочности смеси на выходе смесителя, а неполное химическое отверждение смеси из мелкого песка с долей фракции 016 до 20% понижает прочность и газопроницаемость. Дозирование вручную большинства компонентов при приготовлении смеси вызвано изношенностью оборудования (эксплуатируется свыше 40 лет). В частности системы автоматического дозирования смесителя, в результате чего пониженная живучесть формовочной смеси составляет 3,5 - 4 мин., что с учётом её доставки бадьей, перемещаемой краном, не позволяет свободно залить смесью опоку, так как смесь теряет жидкоподвижность и частично «зависает» на стенках бадьи.

Учитывая указанные отклонения от типового процесса ЖСС и то, что эти смеси имеют влажность на уровне всего 4 - 5%, на данном заводе решили первую опытную заливку



Рис. 1. Модели жёлоба из пенополистирола.



Рис. 2. Отливка жёлоба из стали.



Рис. 3. Стальная отливка вала мешалки смесителя.



Рис. 4. Процесс заливки без выделения дыма.



Рис. 5. Залитая форма вала мешалки смесителя.

при получении отливки жёлоба из углеродистой стали Ст35 массой около 2 т выполнить в форму, изготовленную по  $\text{CO}_2$ -процессу. Процесс заливки и изготовленная отливка убедительно показали возможность получения таких отливок в песчаных формах с жидкостекольным связующим. На рис. 1 показаны пенополистироловые модели жёлоба, а на рис. 2 – вариант отливки жёлоба в форме по  $\text{CO}_2$ -процессу. Полученная отливка сразу после извлечения из формы практически не имеет пригара и нуждается лишь в зачистке абразивным кругом, а контактирующие слои смеси не требуют значительных усилий для отслоения, и их остатки легко удаляются, особенно после термообработки отливки.

Затем из этой же стали получили экспериментальную отливку массой свыше 200 кг типа вала мешалки смесителя (рис. 3), заформовав её модель из пенополистирола по технологии ЖСС по действующей на заводе технологической инструкции для процесса формовки. Отливка, также как и первая, получилась удовлетворительного качества по поверхности, без признаков «кипения» при заливке и без наличия усадочных дефектов, наблюдаемых после отрезки прибыли. Лишь вблизи питателя имелись места повышенной шероховатости поверхности и наплывы толщиной до 1 мм на участке размерами не более 40 x 60 мм, что легко устраняется очистными операциями, а в дальнейшем для их предотвращения необходимо производить двойную окраску этих мест на модели или применять краски с компонентами повышенной огнеупорности.

Процесс заливки (рис. 4) формы при получении по способу [4] отливки (рис. 3) показал, что газы от модели, выходя по каналам через выпор на контролэд формы, сразу воспламеняются и полностью сгорают без образования дыма, формируя факел, который при выполнении каналов направляют под углом в сторону от литниковой воронки. На рис. 4 видно горение такого факела под заливочным ковшом и отсутствие дыма, в отличие от ранее применяемого вывода газов через боковые стенки формы по традиционной технологии – с типичным обильным выделением дыма, что недопустимо по санитарным нормам и часто служило основным препятствием широкому внедрению ЛГМ в формы из ЖСС. Подобное выделением дыма без горения газов автор статьи наблюдал на Горьковском автозаводе в 80-е годы при литье крупных кузовных штампов способом ЛГМ, когда после заливки цех в течение часа проветривали, прервав работу. Форма отливки вала мешалки в пяти опоках сразу после заливки показана на рис. 5.

Получение двух указанных отливок указывает на возможность дальнейшего расширения номенклатуры и объёмов крупного литья, а также на необходимость восстановления технологии ЖСС без подсушки форм, которая нежелательна при ЛГМ-процессе по причине коробления модели и обра-

зования «смолистых» остатков на стенках полости формы от местной деструкции модели. В связи с этим, после решения проблемы удаления газообразных продуктов деструкции модели из полости формы, для достижения стабильного качества отливок без наиболее характерных в этом случае «вскипов» формы, необходимо обеспечение требуемого газового режима самой формы из ЖСС, состоящего в достижении своеобразного оптимального газодинамического баланса, когда её газопроницаемости достаточно для нивелирования влияния газотворности. При этом следует учесть вероятность попадания продуктов деструкции одноразовых пенополистироловых моделей в поры формовочной смеси в качестве дополнительного источника газов. С целью уяснения механизмов и обстоятельств достижения позитивного газового баланса формы, рассмотрим основные технологические принципы получения ЖСС и взаимозависимые характеристики смеси, используя данные монографии [3].

Физическую модель ЖСС можно представить, в идеальном случае, как зёрна песчинок, окружённые пеной, которая раздвигает их до объёмной массы смеси  $(1,1 - 1,3) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  и служит такой своеобразной смазкой, что песчаная смесь приобретает жидкоподвижность. По истечении 10 - 15 мин. после замешивания формовочной смеси пена опадает, формовочная смесь теряет текучесть. Регулируют указанную устойчивость пены свойствами пенообразователя – промышленного ПАВ, специально подобранного и введённого в жидкую композицию при замешивании формовочной смеси.

Явление разрушения пен, которое определяет продолжительность текучести (живучести) смеси, в основном вызвано истечением междуплёночной жидкости из так называемых каналов Плато-Гиббса (по именам двух первых исследователей пен), разделяющих воздушные оболочки пузырьков, и носит название синерезиса. В пене происходит также диффузионный перенос газа за счёт разности давлений в пузырьках разных размеров, т. к. пузырьки в пене имеют разную дисперсность. Этот процесс способствует увеличению или уменьшению размеров воздушных пузырьков, изменяя гранулометрический состав пены (обычно в пределах 0,2 - 0,4 мм). Также в пене происходит коалесценция из-за разрушения разделяющих пузырьки плёнок жидкости при достижении ими некоторой критической толщины, чему способствуют истечение жидкости из пены и диффузия газа. При наличии пены газопроницаемость смеси близка к нулю, поэтому важно обеспечить не только достаточную продолжительность устойчивости пены для поддержания текучести смеси, но и указанный срок опадения пены.

Наилучшие технологические свойства даёт применение песков групп K0315 и K020. С увеличением дисперсности песка снижаются текучесть и газопроницаемость, хорошие результаты получены для речного песка с округлой формой

зёрен, хуже – для угловатого, содержащего пыль и рассредоточенную структуру. Глинистая составляющая рекомендуется до 2%, что позволяет достичь ЖСС с технологически допустимой влажностью не более 4,5 - 5,5%, определяющей допустимый уровень газотворности. При содержании влаги в смеси более 5% и отношении обливаемой металлом поверхности стержня (или аналогичного участка формы без стержней, что свойственно ЛГМ-процессу) к площади его поперечного сечения больше 9, смесь при заливке металлом утрачивает газопроницаемость. В этом случае повышение газового давления часто приводит к «кипению» металла, которое предотвращают мерами дополнительной вентиляции таких участков формы, в частности, выполнением газоотводящих каналов (наколов).

Количество феррохромового шлака-отвердителя жидкого стекла (связующего формовочной смеси) подбирается таким (обычно 3 - 5%), чтобы твердение смеси происходило за 50 - 60 мин. Для ЛГМ-процесса допустим несколько больший срок твердения смеси, чем для литья по деревянным многообразным моделям (поскольку отсутствует операция извлечения модели), что позволяет экономить до 20% этого материала. Такое уменьшение доли шлака как высокодисперсной составляющей повышает пенообразующую способность жидкой композиции и газопроницаемость смеси.

Признаком оптимального результата твердения смеси являются равномерная высокая прочность и хрупкость смеси в объёме, что можно определить даже по раздавливанию пальцами её комочка. Этому виду смеси характерна повышенная хрупкость из-за недостаточной ударной вязкости. Но когда комок смеси имеет хрупкую корку (подсушенную на воздухе) и более податливую сердцевину, это первый признак неполного завершения химического твердения, что даст негативный газовый баланс свойств смеси. Последнее объясняется тем, что при твердении в результате гелеобразования жидкое стекло усаживается до 5% и выше. Его плёнки между песчинками натягиваются и утоняются, вызывая рост газопроницаемости смеси в 2 - 3 раза параллельно с прочностью в течение 1 - 24 часов, чему способствует проникновение углекислоты из воздуха (как отвердителя жидкого стекла) в расширяющиеся поры смеси. Усадке смеси способствует возрастание количества шлака, а снижение температуры песка до 3 - 5°C в холодное время года резко снижает скорость восстановления газопроницаемости параллельно с твердением, что часто требует применения тепловой подсушки форм.

Подчеркнём также ряд других важных технологических мер применения ЖСС. Чтобы избежать ухудшения выбиваемости из-за высокой прочности и снижения газопроницаемости формы, содержание жидкого стекла в смеси не должно быть выше 6%. Поэтому иногда на практике применяемый вариант повышения текучести смеси путём увеличения дозировки жидкой композиции без уменьшения в ней доли жидкого стекла неприемлем. Также снижает прочность смеси уменьшение зёрен песка благодаря увеличению водопоглощения, но ещё большее снижение прочности даёт добавка глины.

Важно при формовке фиксировать пенополистирольную модель в ЖСС, поскольку она очень лёгкая и смесь выталкивает её на поверхность (модель всплывает). Во избежание этого рекомендуется сначала заливать смесь на 20 - 25% высоты опоки, а затем погружать в неё модель, формируя отпечаток низа модели, и выдерживать её 15 - 20 мин. В этот

период можно подготовить или установить литниковую систему, после чего опоку полностью заливают смесью. За указанное время смесь теряет жидкоподвижность и фиксирует модель. Нужно иметь в виду, что для крупных склеенных моделей, при закреплении их низа, архимедова сила в верхних текучих слоях формы может быть столь значительна, что покоробит или по склейке разорвёт модель, и, после заполнения наливной смесью до верха опоки, разрыв или трещину можно не заметить. Во избежание этого следует оклеивать тонкие места пластиковой лентой, применять крепления деталей модели повышенной надёжности, вводить дополнительные рамки или стяжки.

Применение газифицируемых моделей в формах с ЖСС открывает большие возможности повышения точности отливок, устраняя разъём формы со свойственными ему зазорами, уклонами и перекосами. Так как ЖСС наливается на модель и уплотняется под действием собственной массы, исключается опасность деформации и повреждения пенопластовой модели. Значительно сокращаются при этом затраты на оснастку. А применение модельно-макетных станков с ЧПУ для вырезания моделей из блочного пенополистирола позволяет свести изготовление моделей до нескольких часов без какой-либо оснастки. Управление такими станками, количество типов и моделей которых сегодня постоянно растёт при снижении их стоимости, обычно осуществляется через USB порт с обычного персонального компьютера в среде Windows.

Таким образом, рассмотрены перспективные возможности применения ЛГМ-процесса в формах из ЖСС при получении крупных отливок, основное препятствие распространения которого составляет с технологической точки зрения напряжённый газовый режим формы. На основе новых технических решений и на примерах получения стальных отливок показана возможность его регулирования с обеспечением требуемого качества литейной продукции и безопасных условий труда. Также выявлена потребность в модернизации установок ЖСС на современном техническом уровне, в частности, выпущенных отечественным литейным машиностроением в 60 - 80-х годах прошлого века, что позволит расширить совместное применение указанных отечественных технологий литья.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Shroyer H.F. Gibverfahren unter verwendung eines ohne merliche Ruckstande verbrennbaren Modells. Патент ФРГ, кл 31.с, 8/07 (В 22d). № 1108861, Заявл. 1958. Оpubл. 1962.
2. Авторское свидетельство 136014 СССР, МКИ В 22 С 9/04 / А.Р. Чудновский (СССР). Заявл. 08.07.1960. Оpubл. 1961. Бюл. №1. 1 с.
3. Дорошенко С. П., Ващенко К.И. Наливная формовка. К: Вища школа. 1980. 176 с.
4. Пат. Украины 67906, МПК В 22 С 9/04 / О.Й. Шинский, В.С.Шульга Л.П.Вишнякова и др., Заявл. 28.03.2003, оpubл. 15.07.2004. Бюл.№7.

*В.С. Дорошенко, к. т. н., старший научный сотрудник Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины.*