

УДК: 66.10167

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ УСТРОЙСТВ ЛИТЬЯ ПОД ПЕРЕПАДОМ ГАЗОВОГО ДАВЛЕНИЯ

Абдрахманов М.С.

КарГТУ - Карагандинский Государственный Технический Университет, Казахстан,  
Караганда, E-mail: [a.mirhat89@gmail.com](mailto:a.mirhat89@gmail.com)

Цель данной работы заключается в исследовании рабочих процессов устройств литья под регулируемым давлением (процессы подготовки модельной оснастки и процессы заливки) и их влияние на качество отливки. Рассматриваются вопросы производства отливок с использованием литья по газифицируемым моделям (ЛГМ). Результаты работы расширяют представления о технологическом процессе получения алюминиевых отливок способом ЛГМ с использованием рациональных температурных параметров плавки и заливки расплавов в литейную форму. При данном способе литья, однократно используемая пенополистироловая модель с литниковой системой, изготовленная путем задувания в пресс-форму или на модельном станке, окрашенная противопригарным покрытием (возможна предварительная сборка моделей в блоки путем склеивания или припаивания) устанавливается в контейнер-опоку и засыпается, как правило, кварцевым песком, который затем уплотняется вибрацией. После этого проводится вакуумирование формы (поверх формы накладывается полиэтиленовая пленка, с помощью вакуумного насоса и системы очистки газов формовочный песок спрессовывается). В результате получается неразъемная литейная форма, которая далее заливается расплавленным металлом, за счет тепла которого пенополистироловая модель газифицируется и замещается им. Таким образом, получается отливка, полностью воспроизводящая газифицируемую модель. Затем следует охлаждение, выбивка и чистка полученных отливок. Причем до 90% отливок можно применять без их механической обработки

Ключевые слова: литье по газифицируемым моделям, отливка, пенополистироловая модель, литейная форма, заливка.

Методы литья с использованием регулируемого перепада давлений ЛРД на расплав позволяют решать многие проблемы литейного производства. Широкое использование методов литья под низким давлением, с противодействием, по газифицируемым моделям и особенно вакуумным всасыванием обеспечивает повышение экономической эффективности, экологической чистоты технологии и конкурентоспособности литейного производства как основной заготовительной отрасли машиностроения. Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) в настоящее время является одним из эффективных и перспективных способов получения высококачественных тонкостенных отливок, обладающих заданной размерной точностью, требуемой чистотой поверхности и другими свойствами. Все более широкое распространение данная технология находит при производстве изделий из алюминиевых сплавов. Одним из путей снижения себестоимости производства литых изделий является применение ресурсосберегающих технологий. Для алюминиевого литья способом ЛГМ востребованы ресурсосберегающие технологии с использованием повышенного количества вторичных материалов в шихте. Между тем, преобладание при плавке вторичных материалов в шихте, даже при стабильном течении технологического процесса ЛГМ, может приводить к пористости, спаям и другим видам литейных дефектов и брака, что значительно снижает механические и эксплуатационные свойства готовых изделий.

Технология плавки в этом случае должна включать эффективные приемы обработки расплава рациональные температурные перегревы, позволяющие снизить его микронеоднородность, и температурные параметры литья (залитки в форму).

ЛГМ литья позволял решить одну из главных задач литейного производства - упрощение процесса изготовления отливок и повышение их точности, сравнимой с точностью, которую обеспечивает литьё по выплавляемым моделям при значительном снижении затрат на оборудование и материалы [1, с. 224]. При данном способе литья, однократно используемая пенополистироловая модель с литниковой системой, изготовленная путем задувания в пресс-форму или на модельном станке, окрашенная противопопригарным покрытием (возможна предварительная сборка моделей в блоки путем склеивания или припаивания) устанавливается в контейнер-опоку и засыпается, как правило, кварцевым песком, который затем уплотняется вибрацией. После этого проводится вакуумирование формы (поверх формы накладывается полиэтиленовая пленка, с помощью вакуумного насоса и системы очистки газов формовочный песок спрессовывается). В результате получается неразъемная литейная форма, которая далее заливается расплавленным металлом, за счет тепла которого пенополистироловая модель газифицируется и замещается им. Таким образом, получается отливка, полностью воспроизводящая газифицируемую модель. Затем следует охлаждение, выбивка и чистка полученных отливок. Причем до 90% отливок можно применять без их механической обработки [2, с. 490]. В общем виде способ получения отливок литьем по газифицируемым моделям представлен на рис. 1. В настоящее время доля отливок, изготавливаемых способом ЛГМ в отечественном и зарубежном промышленном производстве составляет порядка 30 %, подтверждая свою эффективность. С точки зрения экономических показателей и ресурсосбережения ЛГМ имеет целый ряд преимуществ, основные среди которых [3, с. 37 - 39]:

- исключение из производственного процесса стержневого, формовочного и смесеприготовительного оборудования и, как следствие, снижение капиталовложений;
- уменьшение количества технологических операций при производстве отливок и оборудования для финишной обработки;
- использование недорогой и сравнительно простой оснастки;
- исключение из применения токсичных связующих, большого объема формовочных и стержневых песчаных смесей;
- использование однокомпонентной смеси, при этом существует возможность применения не менее 95% оборотного песка, многократно контактирующего с расплавленным металлом.
- снижение затрат на последующую механическую обработку (повышенная точность размеров получаемых отливок);

- сокращение трудозатрат в несколько раз;
- снижение потребления электроэнергии в несколько раз;
- возможность использования способа для изготовления отливок из большинства черных и цветных сплавов.

Кроме того, применительно к промышленному производству, способ ЛГМ отличается компактностью производства и является более экологичным по сравнению с традиционными методами литья, позволяя при этом получать точные отливки сложной конфигурации с максимальным приближением по размерам и форме к готовой детали из большинства сплавов в условиях единичного, серийного и массового производства массой от нескольких грамм до 500 кг и более [4, с. 17 - 19].

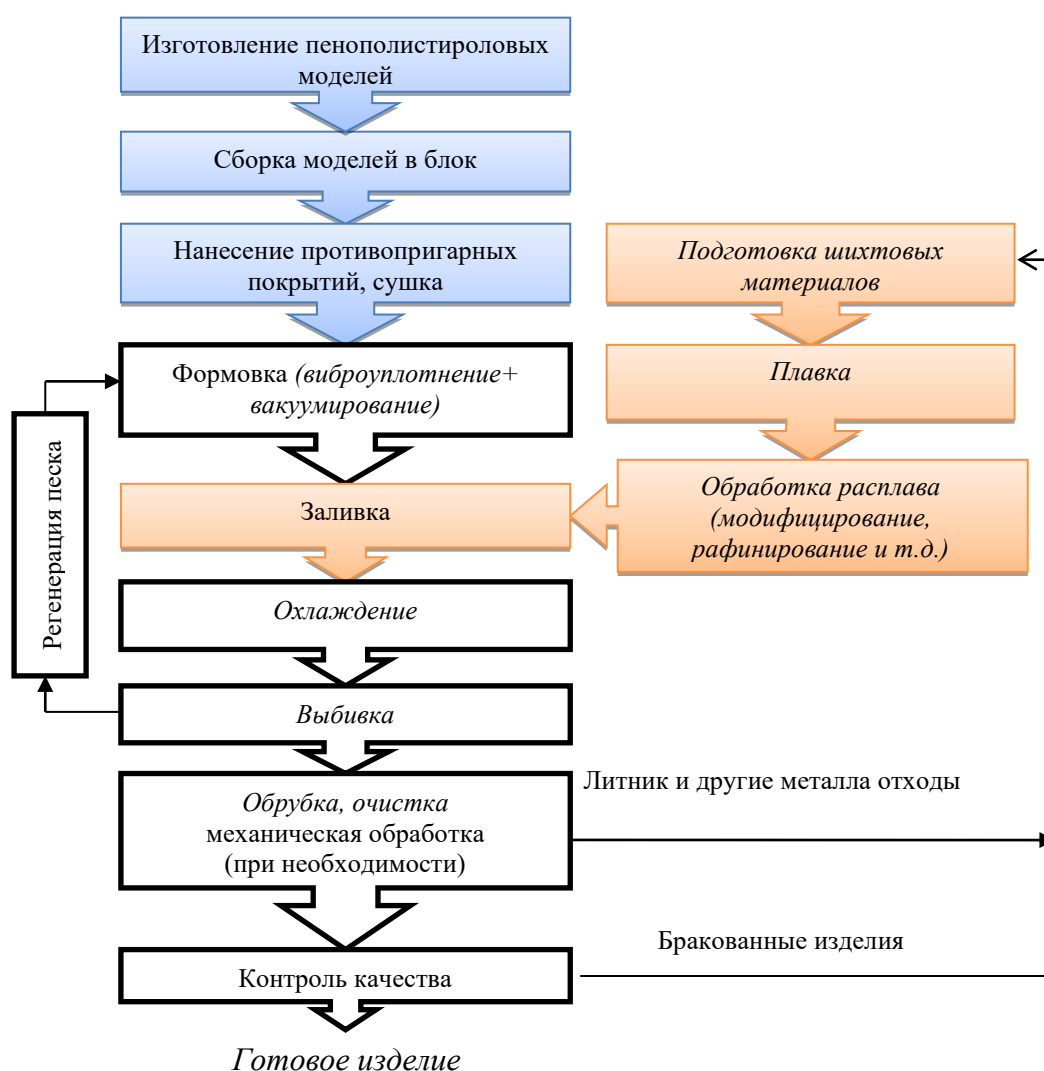


Рис. 1 – Обобщенная технологическая схема изготовления отливок способом ЛГМ процессе в условиях ТОО «КМЗ им. Пархоменко», г. Караганда

Однако существуют и проблемы, связанные с внедрением новой технологии литья на предприятия, среди которых можно выделить следующие [5, с. 14 - 19.]:

- выбор качественного литейного полистирола, с целью получения гладкой поверхности модели без шероховатостей и внешних дефектов;
- подбор и расчет оптимальной плотности пенополистироловых моделей, от которой зависит их прожигаемость и заполняемость полости литейной формы во время заливки расплавом в процессе термодеструкции и, как следствие, технологические, механические и эксплуатационные свойства будущего изделия;
- разработка доступного программного обеспечения, необходимого для технологических расчетов при ЛГМ;
- создание компактных, легко встраиваемых установок регенерации песка и утилизации продуктов термодеструкции полистирола;
- выбор оптимальных режимов вибрации формы, с целью заполнения отверстий модели песком при максимальном его уплотнении, что особенно актуально для тонкостенных моделей отливок сложной конфигурации;
- разработка унифицированной конструкции опок с учетом технологических особенностей ЛГМ-процесса;
- подбор огнеупорного покрытия для пенополистироловых моделей;
- недостаточная изученность и применение ЛГМ-процесса к производству отливок из цветных сплавов (алюминиевых, медных и др.).

Особо следует обратить внимание на то, что использование ЛГМ-процесса для цветных сплавов позволит существенно расширить номенклатуру высококачественных тонкостенных отливок с требуемым комплексом свойств и даст возможность более широкой реализации данной экологической и ресурсосберегающей технологии в различных отраслях промышленности (авиастроении, автомобилестроении, приборостроении и др.).

В качестве литейного сплава при исследовании рабочих процессов был промышленный сплав АК 7 (ГОСТ 1583-93), приготовленный из разных шихтовых материалов – чушковых материалов, вторичных материалов (лома, отходов).

Химический состав используемого в работе сплава приведен в таблице. Для их приготовления использовали чушковые алюминиевые сплавы, вторичные материалы этих же сплавов – лом деталей, отходы литейного и механического цехов. Вторичные материалы во всех вариантах содержали по объему: 50...55 % – мелкого лома и отходов сплавов, 45...50 % – брикетированной стружки соответствующих сплавов. Все отходы были предварительно очищены и обработаны в соответствии с существующими требованиями.

Химический состав сплавов (требования к отливкам по ГОСТ 1583-93) [6, с. 45]

Сплав	<i>Si</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>Ti</i>	<i>Ni</i>	<i>Zr</i>	<i>Cr</i>	Примесей
АК7	6 ÷ 8	<1,5	<0,5	<1,3	0,2 ÷ 0,5	0,2 ÷ 0,6	–	<0,3	–	–	всего 3,3

Экспериментальные плавки проводили в печах ИСТ-0,06. В плавках варьировали температуры перегрева и заливки расплава в литейные формы, а также время выдержки при температуре перегрева. Контроль температуры во время плавки осуществляли в печи с измерительным комплексом. Заливку в литейные формы осуществляли через стекло сетку фильтровальную марки ССФ-0,6. Одним из технологических факторов процесса, влияющих на качество отливок при ЛГМ, является формовка модельных блоков. Главные аспекты в процессе формовки: способ передачи вибрации и способ засыпки сухого кварцевого песка в литейную форму. В настоящее время широко используются вибростолы различных модификаций, позволяющие реализовать различные способы засыпки песка в процессе формовки. Важным преимуществом вибростолов является их использование при крупносерийном производстве отливок в составе автоматических линий ЛГМ - процесса.

В условиях мелкосерийного производства и при большой номенклатуре отливок целесообразным будет использование литейных опок с непосредственно закрепленными на них вибраторами, что позволяет в определенной мере устранить недостатки, характерные при использовании вибростолов. Что касается засыпки песка в опоку, то ее можно осуществлять послойно или одновременно. Главным недостатком послойной формовки является недоуплотнение верхних и переуплотнение нижних слоев литейной формы, приводящих к различным литейным проблемам (в верхних слоях – размыв формы, а в нижних – снижение газопроницаемости). Одновременное заполнение формы песком позволяет избежать вышеуказанных дефектов.

Реализация различных способов формовки при ЛГМ-процессе в условиях ТОО «КМЗ им. Пархоменко», г. Караганда при получении малогабаритного и тонкостенного литья показала, что в рассматриваемых производственных условиях наилучшим качественным показателям отливок по размерной точности и чистоте поверхности способствовала реализация способа формовки с вибраторами, закрепленными на опоке, при одновременной засыпке песка [7, с. 27 - 28.]. Данный способ формовки и использовали в настоящей работе при получении тонкостенных отливок литьем по газифицируемым моделям.

При изготовлении газифицируемых моделей использовался полистирол. Для вспенивания полистирола и получения моделей применяли автоклав ГК-100-3М. Готовые

пенополистироловые модели обрабатывали покрытием PolytopAL2. Модельные блоки помещали вертикально в подвешенном состоянии в опоку размером 700x700x700. Засыпку песка в опоку проводили одновременно с ее вибрацией (частота 36 Гц), которую осуществляли на опоке посредством закрепленных на ней 2-х электрических вибраторов (3000 об/мин). Затем опоку накрывали пленкой, размещали заливочное устройство, вакуумировали литейную форму и производили заливку расплава. После охлаждения осуществляли выбивку отливок, опиловку, пескоструйную зачистку. Для выявления качественных показателей литья оценивали чистоту поверхности и размерную точность отливок. Исследования в работе проводили на тонкостенных отливках (с толщиной стенки 5-10 мм). Контроль химического состава сплавов и содержание неметаллических включений осуществляли на рентгенофлуоресцентном волнодисперсионном спектрометре последовательного действия XRF-1800. Для исследования микроструктуры образцы разрезали на темплеты на расстоянии 15 мм от торца. Темплеты запрессовывали в бакелитовую основу, предварительно механически полировали, затем травили в 0,5 %-ном растворе HF. Подготовку шлифов осуществляли с использованием шлифовально - полировальной машины Saphir 320 (ATA, Германия). Металлографические исследования проводили с помощью инвертированного металлографического микроскопа OLIMPUS GX-51. Определение размеров структурных составляющих производили с помощью программного обеспечения микроскопа и пакета прикладных программ для металлографических исследований Siam Photolab 700. Чистоту поверхности отливок, полученных способом ЛГМ, оценивали визуально, сравнивая их с эталоном. Отливки, имеющие дефекты, сравнивали с допустимыми дефектами, описанными в технических условиях ТОО «КМЗ им. Пархоменко». Размерную точность проверяли по литейному чертежу, на котором указаны размеры, подлежащие контролю.

Полученные результаты обрабатывались с использованием стандартного пакета прикладных программ Microsoft Excel, при помощи пакета программ Statistika 6.0 и SPSS 13.0, а также с помощью программы визуального программирования Delphi 2007 for Win32 incl UPDATE.

1. Установлено, что за счет определенных температур перегрева и литья повышаются герметичность и механические свойства, а также качественные показатели отливок, полученных по газифицируемым моделям.

2. Показано, что при использовании в шихте повышенного количества вторичных материалов (50...55 %) температурные параметры плавки и заливки алюминиевых сплавов ( $T_{\text{ПЕР}} = 880...890$ . °C при  $\square = 8...10$  мин;  $T_{\text{ЗАЛ}} = 820...830$  °C) в литейную форму обеспечивают минимальное содержание неметаллических включений ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) и требуемые показатели прочности и герметичности у тонкостенных отливок из сплава

АК7, полученных способом ЛГМ. Получены аналитические зависимости, связывающие прочность и герметичность отливок, с выдержкой расплава в плавильном агрегате и количеством вторичных материалов в шихте.

3. Установлено, что использование пенополистироловых моделей с плотностью 0,022...0,024 г/см<sup>3</sup>, обладающих требуемым качеством поверхности, жесткостью и прожигаемостью, способствует минимизации литейных дефектов и получению из алюминиевых сплавов тонкостенных отливок с заданными свойствами.

4. Определены рациональные параметры ТСО расплавов ( $T_{\text{ПЕР}} = 990...1000$  °С,  $t = 5...10$  мин) при получении тонкостенных отливок из алюминиевых сплавов способом ЛГМ. Использование ТСО (при 85...90 % вторичных материалов в шихте) обеспечивало у отливок требуемую чистоту поверхности и размерную точность, минимальную пористость, повышенный уровень механических свойств и герметичности.

## Список литературы

1. Степанов, Ю.А. Литьё по газифицируемым моделям / Ю.А. Степанов, Д. С. Гришин, В. П. Кирпиченков [и др.] – М.: Машиностроение, 1976. – с. 224.
2. Шинский, О.И. Газогидродинамика и технологии литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям: Дис. д-ра техн. наук:05.16.04 / Шинский Олег Иосифович. – НАН Украины, 1997. – с. 490.
3. Шуляк, В.С. Материалы 1-й Международной научно-практической конференции «Литьё по газифицируемым моделям» / В.С. Шуляк, В.И. Евсеев // Литейщик России. – 2007. – №12. – с. 37–39.
4. Шуляк, В.С. Некоторые технологические аспекты литья по газифицируемым моделям / В.С. Шуляк // Литейное производство. – 1993. – №7. – с. 17–19.
5. Дорошенко, В.С. Обобщение опыта изготовления пенополистироловых литейных моделей / В.С. Дорошенко, К.Х. Бердыев, И.О. Шинский // Металл и литье Украины. – 2010. – №5. – с. 14 – 19.
6. ГОСТ 1583–93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия.– Москва: ИПК Издательство стандартов, 2000. – с. 45.
7. Деев, В.Б. Выбор способа формовки при литье AL-сплавов по газифицируемым моделям / В. Б. Деев, А. С. Юдин, К. В. Пономарева [и др.] // Литейное производство. – 2014. – № 1. – с. 27–28.