

УДК 621.74

DOI 10.17073/0021-3438-2015-2-48-51

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОСТЕННОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЛИТЬЯ

© 2015 г. В.Б. Деев, К.В. Пономарева, А.С. Юдин

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва  
Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ), г. Новокузнецк  
ООО «НПП Вектор Машиностроения», г. Новокузнецк

*Статья поступила в редакцию 25.06.14 г., подписана в печать 22.10.14 г.*

В условиях ООО «НПП Вектор Машиностроения» (г. Новокузнецк) исследовано влияние плотности пенополистироловых моделей на качество тонкостенных отливок крышки корпуса газоанализатора из сплава АК7, выплавленного на основе отходов собственного производства (шихта содержала 50–55 % вторичных материалов). Для вспенивания полистирола (фирмы «STYROCHEM», г. Монреаль, Канада) и изготовления моделей использовался автоклав ГК-100-3М. Варьируя термовременные режимы автоклава, получали разную плотность модели  $\rho = 0,017, 0,019, 0,022, 0,024$  и  $0,026 \text{ г/см}^3$ . На основе экспериментальных исследований определены и обоснованы оптимальные значения этого показателя ( $\rho = 0,022 \pm 0,024 \text{ г/см}^3$ ), при которых модель обладает требуемым качеством поверхности, жесткостью и прожигаемостью, способствующими минимизации литейных дефектов (несоответствие требуемым геометрическим размерам, спай, недолив) при получении тонкостенных отливок с заданными свойствами.

**Ключевые слова:** отливки, алюминиевые сплавы, плавка, газифицируемое литье, пенополистироловые модели, плотность, качество, ресурсосбережение.

The influence of density of polystyrene foam models on the quality of thin-wall castings of the cap of the gas analyzer case made of AK7 alloy smelted based on wastes of home manufacture (the charge contained 50–55 % secondary materials) is investigated in conditions of LLC SPE «Vektor Mashinostroeniya» (Novokuznetsk). To foam polystyrene (produced by «STYROCHEM», Montreal, Canada) and fabricate the models, a GK-100-3M autoclave was used. Varying temporal-and-time autoclave modes, we obtained different densities of the model  $\rho = 0,017, 0,019, 0,022, 0,024$ , and  $0,026 \text{ g/cm}^3$ . Based on the experimental investigations, the values of this index ( $\rho = 0,022 \pm 0,024 \text{ g/cm}^3$ ), at which the model possesses the required surface quality, stiffness, and burnability promoting the minimization of linear defects (mismatch with required geometric sizes, seal, misrun) when fabricating thin-wall casts with specified properties, are determined and substantiated.

**Keywords:** castings, aluminum alloys, smelting, gasified casting, polystyrene foam models, density, quality, resource saving.

### Введение

При производстве отливок из алюминиевых сплавов различными существующими способами литья активно развиваются ресурсосберегающие технологии, позволяющие использовать при плав-

ке повышенное количество вторичных материалов (отходов) [1–7]. При этом качество получаемых отливок соответствует требуемым условиям [6–9].

Следует отметить, что данные ресурсосберега-

*Деев В.Б. – докт. техн. наук, гл. науч. сотр. кафедры технологии литейных процессов МИСиС (119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4). E-mail: deev.vb@mail.ru.*

*Пonomарева К.В. – ст. преподаватель кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства СибГИУ (654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42). Тел.: (3843)78-43-99. E-mail: kafedra\_lp@mail.ru.*

*Юдин А.С. – гл. технолог ООО «НПП «Вектор Машиностроения» (654007, г. Новокузнецк, пр-д Новогодний, 1). E-mail: smft1@mail.ru.*

юшие технологии, особенно при специальных способах литья, следует применять весьма осторожно — после тщательного анализа действующего технологического процесса производства отливок и учета всех аспектов, позволяющих получить изделия с требуемым комплексом свойств, удовлетворяющих заказчика.

С этой точки зрения наиболее приемлемым и оптимальным является использование лома и отходов только собственного производства с возможностью надлежащего учета и контроля их химического состава и качества.

Одним из специальных способов литья является литье по газифицируемым моделям (ЛГМ), которое в настоящее время следует признать эффективным, экологически приемлемым и технологичным вариантом получения высококачественных отливок, обладающих заданной размерной точностью, требуемой чистотой поверхности и другими достоинствами [10, 11]. Данная технология широко распространена при производстве алюминиевых тонкостенных изделий [12—14]. Технологический процесс ЛГМ достаточно сложен, включает много операций и этапов, начиная от подготовки полистирола и заканчивая выбивкой отливок. При этом одной из существенных проблем является качество изготавливаемой газифицируемой модели, от которого безусловно зависит и качество получаемой отливки. При этом, если учитывать только технологический аспект, то качество модели определяется выбором материала (в данном случае — полистирола) и термовременными режимами работы автоклава, где происходят вспенивание полистирола и собственно изготовление самой модели.

Одной из основных характеристик получаемой модели является плотность, которая, в свою очередь, влияет на ряд других свойств, таких как:

- чистота поверхности;
- жесткость, обуславливающая точность необходимых размеров, особенно при тонкостенном литье;
- прожигаемость расплавом, обеспечивающая протекание процесса деструкции пенополистирола при заливке.

Как правило, данные параметры оцениваются визуально по существующим на предприятии критериям. В своей совокупности при удовлетворении требуемых критериев и оптимальном размещении модельного «куста» в литейной форме вышеуказанные характеристики модели в значительной мере

определяют получение качественного литья без литейных дефектов.

Цель настоящей работы состояла в исследовании влияния плотности пенополистироловых моделей на чистоту их поверхности, жесткость и прожигаемость, а также на качество получаемых из них герметичных отливок крышки корпуса газоанализатора из сплава АК7 в условиях ООО «НПП Вектор Машиностроения» (г. Новокузнецк).

## Методика проведения эксперимента

Объектом исследования являлись пенополистироловые модели (ППСМ) с разной плотностью. Шихта содержала 50—55 % вторичных материалов. Плавку проводили в печи ИСТ-0,16. Температуру перегрева расплава во всех плавках составляла  $t_{\text{п}} \sim 880 \div 890$  °С, а заливки  $t_3 \sim 820 \div 830$  °С. Время выдержки расплава при  $t_{\text{п}}$  во всех вариантах не превышало 5—6 мин. Заливку в литейную форму осуществляли через фильтр ССФ-0,6.

В качестве материала для газифицируемых моделей применяли полистирол фирмы «STYROCHEM», (г. Монреаль, Канада). Для его вспенивания и изготовления ППСМ использовали автоклав ГК-100-3М. Варьируя термовременные режимы печи, получали разную плотность ( $\rho$ ) пенополистироловых моделей (контроль был не периодический, а постоянный), которую определяли по формуле  $\rho = m/V$  с помощью массы ( $m$ ) и известного объема ( $V$ ) модели.

Для определения оптимальной плотности ППСМ при литье по газифицируемым моделям в среде визуального программирования Delphi 2007 for Win32 incl UPDATE 1 было разработано приложение «Расчет оптимальной плотности пенополистироловых моделей» [15]. Программа позволяет рассчитать объем и плотность ППСМ в зависимости от ее геометрической формы и размеров с учетом массы используемого полистирола.

При исследовании влияния плотности моделей на качество отливок использовали ППСМ с  $\rho = 0,017, 0,019, 0,022, 0,024$  и  $0,026$  г/см<sup>3</sup> и покрытием Polytop AL2. Готовые модельные блоки (4 «куста» по 8 моделей) с помощью специального устройства помещали вертикально в подвешенном состоянии в опоку размером 700×700×700 мм. Засыпку в нее песка проводили в режиме вибрации, которую осуществляли посредством закрепленных на опоке 2 электрических вибраторов (скорость 3000 об/мин, частота ~ 36 Гц). Затем накрывали опоку пленкой,

устанавливали заливочное устройство (состоящее из горизонтальной рамки с пазами и 2 цилиндрических емкостей), вакуумировали литейную форму и производили заливку расплава. После его кристаллизации и охлаждения осуществляли выбивку отливок, опиловку, зачистку (пескоструйно) и оценивали качественные литейные дефекты полученных отливок.

Если в одной серии в 4 «кустах» из 32 отливок более 3 шт. суммарно или по отдельности имели по одному или несколько литейных дефектов, то считалось, что исследуемая плотность пенополистироловой модели приводит к дефектному литью.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Влияние различной плотности моделей на качество отливок крышки корпуса газоанализатора иллюстрирует таблица. Из ее данных следует, что наилучшие результаты показали ППСМ с плотностью  $\rho = 0,022 \pm 0,024$  г/см<sup>3</sup>. Эти модели обеспечили удовлетворительную чистоту поверхности, приемлемую жесткость, прожигаемость расплавом, что и обусловило получение качественных отливок без литейных дефектов.

На рисунке показаны готовые пенополистироловые модели для отливок крышки корпуса газоанализатора с  $\rho = 0,017$  и  $0,024$  г/см<sup>3</sup>. Визуально видно, что недостаточная плотность ППСМ приводит к ее «зернистости» и «шероховатости» (см. рис. а), после заливки в точности переходящих на отлив-



Пенополистироловая модель для отливки крышки корпуса газоанализатора с разной плотностью  
а –  $\rho = 0,017$  г/см<sup>3</sup>; б –  $0,024$  г/см<sup>3</sup>

### Влияние плотности пенополистироловых моделей на их характеристики и качество отливок

Плотность <sup>1</sup> , г/см <sup>3</sup>	Характеристики <sup>2</sup> модели			Дефекты в отливках
	Чистота поверхности	Жесткость	Прожигаемость	
0,017	–	–	+	Несоответствие требуемым геометрическим размерам Неудовлетворительная литейная поверхность (надпись неразборчива)
0,019	+	–	+	Несоответствие требуемым геометрическим размерам
0,022	+	+	+	Литейных дефектов нет
0,024	+	+	+	Литейных дефектов нет
0,026	+	+	–	Спай Недолив

<sup>1</sup> Среднее значение по 128 моделям (4 плавки каждого варианта).  
<sup>2</sup> Знак «+» – удовлетворительная, «–» – неудовлетворительная характеристика.

ки, способствуя возникновению дефектов поверхности.

Следует обратить внимание, что в промышленных технологиях ЛГМ необходимым и целесообразным является разработка адекватных математических моделей, позволяющих рассчитывать оптимальные технологические параметры, обеспечивающие получение качественных отливок различной конфигурации, — плотность пенополистироловой модели, температуру заливки расплава в литейную форму и др.

В ходе проведенных экспериментов установлено, что при применении предлагаемой ресурсосберегающей технологии (50—55 % вторичных материалов в составе шихты) наиболее оптимальной плотностью ППСМ для изготавливаемых отливок заданного качества является значение  $\rho \sim 0,022 \div 0,024 \text{ г/см}^3$  при следующих температурных параметрах плавки и литья:  $t_{\text{п}} \sim 880 \div 890 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_3 \sim 820 \div 830 \text{ }^\circ\text{C}$ , а время выдержки при  $t_{\text{п}}$  составляет 5—6 мин.

При использовании шихты, содержащей повышенное количество вторичных материалов (от 50 до 80 % и более), необходимо корректировать температурные параметры плавки, увеличивая степень перегрева расплава (до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  и выше). При этом следует учитывать особенности действующего технологического процесса получения отливок и технологические возможности плавильных агрегатов. В печах индукционного нагрева проведение высокотемпературных перегревов наиболее рационально.

## Заключение

В производственных условиях ООО «НПП Вектор Машиностроения» исследовано влияние плотности пенополистироловых моделей на качество отливок крышки корпуса газоанализатора из сплава АК7, выплавленного на основе отходов собственного производства. Выявлено, что плотность моделей определяет такие их характеристики, как чистота поверхности, жесткость, прожигаемость. Экспериментально показано, что оптимальным ее значением является  $\rho \sim 0,022 \div 0,024 \text{ г/см}^3$ , и модели с такой плотностью обеспечивают отсутствие литейных дефектов и получение отливок заданного качества.

*Работа выполнена в рамках государственной работы «Организация проведения научных исследований» государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности на 2014–2016 гг. (Задание № 2014/113).*

## Литература

1. Калиниченко А.С., Немененок Б.Н., Калиниченко В.А. // Лит. пр-во. 2004. № 3. С. 21, 22.
2. Селянин И.Ф., Деев В.Б., Войтков А.П., Башмакова Н.В. // Литейщик России. 2006. № 2. С. 18—20.
3. Шуранков С.Е., Трибушевский В.Л., Немененок Б.М., Леках С.Н. // Лит. пр-во. 2001. № 9. С. 12, 13.
4. Деев В.Б., Селянин И.Ф., Ри Хосен и др. // Литейщик России. 2012. № 10. С. 14—17.
5. Deev V.B., Degtyar V.A., Kutsenko A.I. et al. // Steel Trans. 2007. Vol. 37, № 12. P. 991—994.
6. Золоторевский В.С. // Цв. металлы. 2004. № 7. С. 76—80.
7. Никитин В.И., Никитин К.В. Наследственность в литейных сплавах. М.: Машиностроение-1, 2005.
8. Деев В.Б. Развитие научных основ тепловых и электромагнитных воздействий на расплавы и разработка ресурсосберегающих технологий получения высококачественных отливок из алюминиевых сплавов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Комсомольск-на-Амуре: КНАГТУ, 2012.
9. Деев В.Б., Селянин И.Ф., Феоктистов А.В., Шульгин Ю.Ф. // Заготовительные пр-ва в машиностроении. 2003. № 2. С. 4—6.
10. Шуляк В.С. Литье по газифицируемым моделям. СПб.: НПО «Профессионал», 2007.
11. Рыбаков С.А. // Литейщик России. 2009. № 4. С. 44—45.
12. Деев В.Б., Юдин А.С., Пономарева К.В. и др. // Лит. пр-во. 2014. № 1. С. 27, 28.
13. Деев В.Б., Прохоренко А.В., Пономарева К.В. // Изв. вузов. Чер. металлургия. 2014. № 2. С. 68, 69.
14. Деев В.Б., Пономарева К.В., Юдин А.С. и др. // Лит. пр-во. 2014. № 3. С. 25—27.
15. Св-во гос. рег. программы для ЭВМ № 2014617021 (РФ). Расчет оптимальной плотности пенополистироловых моделей / В.Б. Деев, С.А. Цецорина, К.В. Пономарева, А.С. Юдин. (Заявка № 2014612497, поступ. 19.03.2014, регистр. 09.07.2014).