ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-4-40-46>ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИСТИРОЛА С ДОБАВЛЕНИЕМ
ВТОРИЧНЫХ ГРАНУЛ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОЛИСТИРОЛА

Куликов В.Ю., Исагулов А.З., Щербакова Е.П., Ковалёва Т.В.

Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Республика Казахстан

Аннотация

Одним из высокоточных способов литья является изготовление отливок по газифицируемым моделям. Как правило, в данной технологии применяется литейный полистирол. Использование в составе газифицируемой модели вторичных гранул строительного полистирола приведет в конечном итоге к удешевлению отливок. Целью исследования явилось определение оптимальной концентрации гранул строительного полистирола в составе модели. Для этого с использованием методов математического планирования в условиях производства (ТОО «КМЗ им. Пархоменко», Караганда) изготавливались модели различных составов. В дальнейшем они использовались для получения отливок. Исследования проводили на пористость, шероховатость, пригар и степень выгорания модели. Эксперименты проводились по гостированным и общепринятым методикам, с привлечением новых приборов и оборудования. Новизна работы: впервые разрабатывается технология изготовления прецизионных отливок литьем по газифицируемым моделям с использованием литейного полистирола со вторичными гранулами строительного полистирола. Определена целесообразность применения в литье по газифицируемым моделям вторичного полистирола в диапазоне 10–50%. Оптимальным по экспериментальным исследованиям признано использование в составе модели 35–40% вторичных гранул из отходов строительного пенополистирола. Это позволяет получать газифицируемые модели высокого качества с низкой шероховатостью, высокой геометрической размерной точностью и однородной объемной плотностью по всему сечению модели. Это происходит вследствие низкой вспенивающей активности гранул вторичного полистирола, которые оказываются на поверхности формируемой модели. К тому же стоимость такого полистирола значительно меньше традиционного литейного, используемого в большинстве цехов в настоящее время. Приведены результаты исследований предлагаемого состава полистирола на пористость, шероховатость, пригар и скорость выгорания.

Ключевые слова: полистирол, модель, отливка, пористость, шероховатость, пригар, качество.

Исследования выполнены в рамках выполнения гранта «Разработка технологии производства сложных отливок при литье по газифицируемым моделям» по договору с КН МОН РК № 163-3 от 03 марта 2017г.

Введение

Одним из современных способов изготовления литых заготовок, удовлетворяющих потребностям производства, становится технология литья по газифицируемым моделям (ЛГМ). В действительных производственных условиях наиболее распространенной является технология получения моделей, включающая последовательность: приготовление гранул полистирола, пресс-формы и её заполнение гранулами пенополистирола, тепловую обработку пресс-формы, охлаждение модели после сушки и контроль качества модели [1].

Для моделей в производственной практике обычно используется литейный полистирол [2–7].

Значительным недостатком вспененных гранул литейного полистирола является их предрасположенность к комкованию (слипанию).

Она проявляется из-за химического или электрического взаимодействия между гранулами. Эти факторы приводят к сложностям в заполнении гранулами пресс-формы.

Также недостатками являются относительно низкий выход годного литья, плохая жидкотекучесть расплава, в то время как вязкость жидкого металла весьма высокая. Это происходит вследствие недостаточного уровня избыточного давления по отношению к газовому давлению в форме. Из-за этого проявляются неудовлетворительные характеристики структуры отливок. Еще одним недостатком такого способа изготовления отливок является то, что образуется значительный пригар на поверхности отливки и, соответственно, увеличивается их шероховатость из-за прочного сцепления частиц песка с металлом [8].

Изготовление газифицируемых моделей в литейном производстве ТОО «КМЗ им. Пархо-

менко» осуществляется механической обработкой из пенополистироловых плит, получаемых как из литейных, так и строительных марок суспензионного полистирола.

По опыту производств, использующих ЛГМ, можно определить требования к моделям: исходный материал моделей должен быть недорогим и нетоксичным; плотность минимальной, а прочность относительно высокой; модель при взаимодействии с расплавленным металлом должна полностью выгорать; должна обеспечить формирование качественной поверхности отливки.

Для получения моделей высокого качества с низкой шероховатостью, высокой геометрической размерной точностью и однородной объемной плотности по всему сечению возможно применять более дешевый полистирол, содержащий вторичный пенополистирол из отходов строительного пенополистирола. Возможно использование вторичного полистирола в диапазоне 10–50%.

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

Экспериментальные плавки проводились на ТОО «КМЗ им. Пархоменко» (г. Караганда). Модели получали из литейного полистирола с фракциями 0,3–0,6 мм и вторично переработанных из отходов строительного пенополистирола гранул размером до 0,5 мм в количестве 10–50%. Полистирол, согласно технологии, предварительно подвспенивался на пару и просушивался, затем задувался в пресс-форму, которая выдерживается в автоклаве до тех пор, пока гранулы полистирола не спекутся.

Основным направлением исследований было определение влияния состава модели на изготавливаемую отливку. Одним из определяющих факторов получения качественной отливки является пористость модели, которая должна быть в технологически необходимых пределах. Увеличение пористости приведет к деформированию модели под нагрузкой песка и, следовательно, искажению геометрических размеров отливки. Уменьшение пористости будет уменьшать скорость выгорания модели, приводить к увеличению остатка и, тем самым, будет способствовать науглероживанию поверхности отливки, снижению ее шероховатости и увеличению пригара.

Исследования микроструктуры полученных образцов проводили на микроскопе Tescan Vega. Определение открытой пористости осуществляли

методом ртутной порометрии [9] с использованием порозиметра Pascal, полноту сгорания определяли путем взвешивания остатка на весах Shimadzu после выдерживания на полистироловые образцы при разных температурах в печи Nobertherm.

Шероховатость измеряли портативным измерителем шероховатости TR 100 согласно ГОСТ 2789-73 [10].

Пригар определяли следующим образом: отливки охлаждали до комнатной температуры, после чего из них вырезали образцы размером 30×30×15 мм. С поверхности образцов удаляли легко отделяемый пригар песка и остатка полистироловой модели. Для удаления оставшегося трудно отделяемого пригара образцы погружали в расплав едкого натра при температуре 500°C и выдерживали в нем в течение 4–6 ч (по достижению постоянного веса образца). За количественную характеристику пригара принималось отношение веса пригара к площади поверхности образца (г/см²).

Результаты исследования и их обсуждение

Ранее проводились исследования по отработке конструкции опоки для литья по газифицируемым моделям, подбора состава краски для моделей и выбора кварцевых песков [11–14].

Для оценки технологических свойств полистироловых моделей с добавлением вторичных гранул проводили ряд исследований, в частности их пористости (рис. 1).

Наличие пористости способствует скорому затеканию в модель жидкого металла и горячего воздуха и способствует более быстрому и полному выгоранию (парообразованию), вследствие чего исключается или снижается взаимодействие остатка с поверхностью формирующейся отливки. Следовательно, шероховатость отливки, пригар на ней и науглероживание поверхности также исключаются. В то же время избыток (свыше 40%) в составе модели вторичных гранул снижает скорость выгорания, вероятно, за счет более полной их упаковки.

Исследования показали, что наибольший объем пор находится в пределах 20 мкм. Пористость полистироловых образцов с крошкой строительного полистирола на 20% выше, чем образцов из литейного полистирола.

Исследования полистироловой модели под микроскопом при увеличении в 100 раз показали значительную плотность и равномерность сформированных гранул (рис. 2).

Рис. 1. Распределение пор в пенополистироловой модели с 40% добавки вторичных гранул

а

б

Рис. 2. Микроструктурный снимок сердцевины (а) и поверхности (б) модели с 40% вторичных гранул из отходов строительного пенополистирола

Зависимость шероховатости отливки от состава модели показана на **рис. 3**.

Та же зависимость проявляется и в случае выявления влияния состава модели на величину пригара (**рис. 4**).

Также исследовали полноту выгорания моделей из полистирола с добавлением гранул вторичного полистирола. Для этого образец модели

отливки «Фланец» помещали в термическую печь. Модель проставляла собой небольшой сегмент модели массой 0,5 г.

После выдержки образца при определенной температуре в течение 30 с тигель с остатком образца извлекался из печи и взвешивался, разница между весом тигля с остатками и без и показывает сухой остаток от образца модели (**рис. 5, 6**).

Рис. 3. Зависимость шероховатости отливки от состава модели

Рис. 4. Зависимость величины пригара отливки от состава модели

а

б

Рис. 5. Образец №1 (содержание вторичных гранул 40%) (а – начальный образец; б – после нахождения в печи при температуре 200°C)

а

б

Рис. 6. Образец №4 (содержание вторичных гранул 40%) (а – начальный образец; б – после нахождения в печи при температуре 850°C)

Очевидно, что при относительно низких температурах воздействия (200–400°C), полистирол плавится и спекается, а при высоких температурах выгорает, оставляя золу.

Влияние температуры воздействия на степень выгорания полистироловых моделей представлено на рис. 7.

Рис. 7. Влияние температуры воздействия на полноту выгорания полистироловых моделей

Полистироловая модель отливки «Броневая плита», изготовленная по отмеченной выше технологии, показана на **рис. 8**.

а

б

Рис. 8. Склеенная модель отливки (а) и отливка «Броневая плита» (б)

Заключение

Получение полистироловых моделей с добавлением вторичных гранул строительного полистирола позволило значительно снизить процент брака отливок (не более 2–3%).

Модернизирован состав моделей для изготовления литых заготовок сложной конфигурации, определен и состав моделей. Основные достоинства такой технологии:

- геометрическая точность изготавливаемых литых заготовок любой конфигурации;
- низкая шероховатость поверхности (R_z 70–90) дает возможность для некоторых отливок исключить механическую обработку, если механическая обработка необходима, то припуск на нее будет минимальным;
- полная идентичность отливок в серии;

- однородная объемная плотность по всему сечению модели. Это происходит вследствие низкой вспенивающей активности гранул вторичного полистирола, которые оказываются на поверхности формируемой модели.

Предлагаемый состав полистироловых моделей может быть использован на предприятиях, ориентированных на выпуск литейной продукции методом ЛГМ, т.к. не требует дополнительных затрат на закупку новых основных средств, расширение штата или ассортимента закупаемого сырья.

Основные преимущества использования предлагаемого состава газифицируемых моделей по сравнению с используемыми в настоящее время:

- снижение доли импорта в сфере фасонного литья;
- повышение рентабельности литейного производства.

В настоящее время отработанный технологический процесс используется на ТОО «КМЗ им. Пархоменко» на участке по выпуску крупнобаритного литья для горнодобывающей промышленности.

Список литературы

1. Шуляк В.С. Литье по газифицируемым моделям. СПб.: Профессионал, 2007. 60 с.
2. Апоненко А.Г., Горбулько В.М. Литье по газифицируемым моделям. Особенности процесса и материалов // Литейщик России. 2012. №12. С. 26–29.
3. Деев В.Б., Пономарева К.В., Юдин А.С. Исследование плотности пенополистироловых моделей при реализации ресурсосберегающей технологии получения тонкостенного алюминиевого литья // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2015. №2. С. 48–51.
4. Соловко И.Т., Шинский И.О., Бердыев К. Подвспенивание исходного полистирола в ультрафиолетовом излучении // Литейное производство. 2014. №4. С. 13–15.
5. Рыбаков С.А. Литье по газифицируемым моделям – вектор развития // Литейщик России. 2012. № 12. С. 11–13.
6. Nesterov, N. V.; Ermilov, A. G. The Effect of Vacuum Rarefaction during Foundry by Gasified Models // Russian journal of non-ferrous metals, 2008, no.10, vol. 49, iss. 5, pp. 363–366.
7. Ardashkin, Igor B.; Yakovlev, Alexey N.; Martyushev, Nikita, V Evaluation of the Resource Efficiency of Foundry Technologies: Methodological Aspect // International Conference for Young Scientists on High Technology - Research and Applications. Tomsk Polytechn Univ, MAR 26–28, 2014, High Technology: Research and Applications. Серия книг: Advanced Materials Research. Vol. 1040. P. 912–916. 2014.
8. <http://mitalolom.ru/2012/04/17/2-3-izgotovlenie-modelej-v-serijnom-proizvodstve/>
9. Плаченов Т.Г., Колосенцев С.Д. Порометрия. М.: Химия, 1988. 176 с.: ил.

10. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
11. Совершенствование литья по газифицируемым моделям / Исагулов А.З., Куликов В.Ю., Laurent С., Твердохлебов Н.И., Щербакова Е.П. // Литейное производство. 2014. №4. С. 16–18.
12. Влияние краски на качество чугунных и стальных отливок сложной конфигурации при ЛГМ / Исагулов А.З., Куликов В.Ю., Твердохлебов Н.И., Щербакова Е.П., Ковалёва Е.П. // Литейное производство. 2015. №7. С. 17–19.
13. Литье по газифицируемым моделям в опоках с боковым и нижним забором воздуха / Исагулов А.З., Куликов В.Ю., Твердохлебов Н.И., Ковалёва Т.В. // Литейное производство. 2016. №10. С. 22–25.
14. Исследование структуры пенополистирола при литье по газифицируемым моделям / Квон С.С., Куликов В.Ю., Исагулов А.З., Аринова С.К., Ковалёва Т.В. // Литейное производство. 2017. №7. С. 18–20.

Поступила 03.10.17.

Принята в печать 13.11.17.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-4-40-46>

STUDY OF THE PROPERTIES OF POLYSTYRENE CONTAINING SECONDARY GRANULES OF EXPANDED POLYSTYRENE

Vitaliy Yu. Kulikov – Ph.D. (Eng.), Professor, Chief Scientific Officer

Karaganda State Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan. E-mail: mlpikm@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6191-8569

Aristotel Z. Issagulov – D.Sc. (Eng.), Professor, First Vice Rector

Karaganda State Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan. E-mail: a.isagulov@kstu.kz. ORCID: 0000-0003-2174-9072

Elena P. Shcherbakova – Ph.D., Senior Research Fellow

Karaganda State Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan. E-mail: sherbakova_1984@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6678-6673

Tatjana V. Kovaljva – Master's student, doctoral student

Karaganda State Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan. E-mail: sagilit@mail.ru. ORCID: 0000-0002-1186-1805

Abstract

Lost-foam casting is one of the high-precision casting techniques. This technique usually relies on the use of foundry polystyrene. The use of secondary granules of expanded polystyrene in evaporative patterns can eventually result in the lower cost of castings. The purpose of this research was to determine the optimum concentration of expanded polystyrene granules in the pattern. For this purpose, patterns of various compositions were manufactured using mathematical planning methods and in the production environment of Karaganda Machine Building Plant named after Parkhomenko. Such patterns were then used for casting. The patterns were tested for porosity, roughness, penetration and vaporization degree. The experiments conducted relied on both the national standards and the common practice, as well as on advanced instruments and equipment. Originality: This research marks the first time when a precision lost-foam casting technique is being developed that relies on the use of polystyrene with secondary granules of expanded polystyrene. The range of 10 to 50% has been identified as the optimum concentration of secondary polystyrene for lost-foam casting. Based on the results of experimental studies, the use of 35-40% of secondary granules from waste construction polystyrene was found as optimum. Due to this, one can obtain high-quality polystyrene patterns

with low roughness, high dimensional accuracy and uniform bulk density across the entire pattern section. This is due to low foamability of the secondary polystyrene granules which can be found on the surface of the pattern. Besides, the cost of such polystyrene is much lower than the cost of the conventional foundry polystyrene which is currently used in most casting applications. The article also describes the results of studies in which the proposed polystyrene composition was tested for porosity, roughness, penetration and vaporization degree.

Keywords: Polystyrene, model, casting, porosity, roughness, penetration, quality.

References

1. Shulyak V.S. Lost-foam casting. Saint Petersburg: Professional, 2007, 60 p. (In Russ.)
2. Aponenko A.G., Gorbulko V.M. Lost-foam casting. The process and the materials. *Liteyshchik Rossii* [Foundryman of Russia]. 2012, no. 12, pp. 26–29.
3. Deev V.B., Ponomareva K.V., Yudin A.S. Looking at the density of expanded polystyrene patterns for the implementation of a sustainable thin-wall aluminum casting process. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tsvetnaya metallurgiya* [Proceedings of Russian universities. Non-ferrous metallurgy]. 2015, no. 2, pp. 48–51.

4. Solovko I.T., Shinsky I.O., Berdyev K. Foaming of primary polystyrene under ultraviolet radiation. *Liteynoe proizvodstvo* [Foundry]. 2014, no. 4, pp. 13–15.
5. Rybakov S.A. Lost-foam casting: A vector of development. *Liteyshchik Rossii* [Foundryman of Russia]. 2012, no. 12, pp. 11–13.
6. Nesterov, N.V.; Ermilov, A. G. The Effect of Vacuum Rarefaction during Foundry by Gasified Models. *Russian Journal of Non-ferrous Metals*, 2008, no. 10, vol. 49, iss. 5. pp. 363–366.
7. Ardashkin, Igor B., Yakovlev, Alexey N.; Martyshev, Nikita, V Technologies: Methodological Aspect. International Conference for Young Scientists on High Technology - Research and Applications Location: Tomsk Polytechn Univ, Tomsk, RUSSIA publ.: MAR 26-28, 2014 High Technology: Research and Applications Series: Advanced Materials Research. Vol. 1040, pp. 912–916.
8. <http://mitalolom.ru/2012/04/17/2-3-izgotovlenie-modelej-v-serijnom-proizvodstve/>
9. Plachenov T.G., Kolosentsev S.D. Porometry. Moscow: Khimiya, 1988, 176 p. (In Russ.)
10. GOST 2789-73. *Sherohovatost' poverhnosti. Parametry i harakteristiki* [State Standart 2789-73. Surface roughness. Parameters and characteristics].
11. Isagulov A.Z., Kulikov V.Yu., Laurent C., Tverdokhlebov N.I., Shcherbakova E.P. Improving the lost-foam casting process. *Liteynoe proizvodstvo* [Foundry]. 2014, no. 4, pp. 16–18. (In Russ.)
12. Isagulov A.Z., Kulikov V.Yu., Tverdokhlebov N.I., Shcherbakova E.P., Kovaleva E.P. The effect of paint on the quality of cast iron and steel LFC castings of complex geometry. *Liteynoe proizvodstvo* [Foundry]. 2015, no. 7, pp. 17–19. (In Russ.)
13. Isagulov A.Z., Kulikov V.Yu., Tverdokhlebov N.I., Kovaleva T.V. Lost-foam casting using flasks with air inlets on a side and at the bottom. *Liteynoe proizvodstvo* [Foundry]. 2016, no. 10, pp. 22–25. (In Russ.)
14. Kvon S.S., Kulikov V.Yu., Isagulov A.Z., Arinova S.K., Kovaleva T.V. Looking at the structure of polystyrene foam when using the lost-foam casting process. *Liteynoe proizvodstvo* [Foundry]. 2017, no. 7, pp. 18–20. (In Russ.)

Received 03/10/17

Accepted 13/11/17

Образец для цитирования

Исследование свойств полистирола с добавлением вторичных гранул строительного полистирола / Куликов В.Ю., Исагулов А.З., Щербак Е.П., Ковалёва Т.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №4. С. 40–46. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-4-40-46>

For citation

Kulikov V.Yu., Issagulov A.Z., Shcherbakova E.P., Kovaljova T.V. Study of the properties of polystyrene containing secondary granules of expanded polystyrene. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2017, vol. 15, no. 4, pp. 40–46. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-4-40-46>