

Письменний Сергій Васильович – доцент, кандидат технічних наук, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет", доцент кафедри "Підземної розробки родовищ корисних копалин"; адреса університету: вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027

Письменний Сергей Васильевич – доцент, кандидат технических наук, Государственное высшее учебное заведение "Криворожский национальный университет", доцент кафедры "Подземной разработки месторождений полезных ископаемых"; адрес университета: ул. Виталия Матусевича, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50027

Pysmennyy Serhii – Associate Professor, candidate of technical sciences (PhD), State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Associate Professor "Underground mining of mineral deposits"; University address: 11, Vitaliy Matusevych str., Kryvyi Rih, Ukraine, 50027

УДК 621.74

О. А. ЧИБИЧИК, Р. Н. СТЕПАНЕНКО, А. Н. ГОРОЩЕНКО, Д. В. ГРИЦЕНКО, Л. А. САЛТЫКОВ, Д. Н. МАКАРЕНКО

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЛИТЬЯ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ Al-Mg СПЛАВА ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМУМА ЖИДКОТЕКУЧЕСТИ

Проведено математическое моделирование влияния соотношения Al/Mg и температуры на жидкотекучесть Al-Mg сплава. Показано, что такое влияние может быть описано уравнением регрессии в факторном пространстве 2^2 , которое получено на основе реализации центрального ортогонального композиционного плана (ОЦКП) второго порядка. Проанализирована возможность исследования полученной поверхности отклика для выявления оптимальных значений входных переменных, выступающих главными технологическими режимами литья под низким давлением

Ключевые слова: литье под низким давлением, Al-Mg сплав, жидкотекучесть, центральный ортогональный композиционный план второго порядка, уравнение регрессии, поверхность отклика

Проведено математичне моделювання впливу співвідношення Al/Mg та температури на рідкотікучість Al-Mg сплаву. Показано, що такий вплив може бути описано рівнянням регресії у факторному просторі 2^2 , яке побудовано на основі реалізації центрального ортогонального композиційного плану (ОЦКП) другого порядку. Проаналізовано можливість дослідження отриманої поверхні відгуку для виявлення оптимальних значень вхідних змінних, що виступають головними технологічними режимами лиття під низьким тиском.

Ключові слова: лиття під низьким тиском, Al-Mg сплав, рідкотікучість, центральный ортогональный композиционный план второго порядка, рівняння регресії, поверхня відгуку

An adequate regression equation describing the influence of the Al/Mg ratio and temperature on the Al-Mg alloy castability for low-pressure casting is obtained. It is shown that such effect can be described by the regression equation in the factor space 2^2 , which is obtained on the basis of the realization of the second order central orthogonal compositional design (COCD). The possibility of investigating the received response surface is analyzed to identify the optimal values of the input variables that act as the main technological regimes of low-pressure casting. In particular, it is shown that the study of the nature of the function $\eta(\lambda)$ in the four ranges of the input variable separated by the poles λ_1 and λ_2 makes it possible to find the values of the input variables that are suboptimal and provide the possibility of obtaining high castability indices by the appropriate selection of technological regimes - Al/Mg ratio and temperature of the Al-Mg alloy for low-pressure casting.

Keywords: low-pressure casting, Al-Mg alloy, castability, second order central orthogonal compositional design, regression equation, response surface

Введение. В последнее время в литейном производстве одним из самых перспективных способов является литье под низким давлением (ЛНД). Наиболее широко ЛНД применяется для изготовления отливок из алюминиевых сплавов. Отличительной способностью ЛНД от остальных видов литья является многоступенчатое регулирование давления газа над зеркалом расплава в тигле машины с сифонной подачей расплава в литейную форму по металлопроводу. Именно поэтому для изготовления отливок энергетического машиностроения, в частности заливки роторов тяговых электроприводов, выбрана именно эта технология. В частности, наилучшей является технология, при которой рабочее давление устанавливают на уровне, близком к минимально необходимому, а после заполнения формы и выдержки, достаточной для образования твердой поверхности отливки, давление поднимают с целью повышения эффективности питания. Особую актуальность при этом приобретают

вопросы, связанные с моделированием влияния технологических факторов на жидкотекучесть сплава.

Анализ литературных данных. ЛНД относится к специальным видам литья, преимущественно цветного литья, поэтому рассмотрение данной технологии, так же, как и для других спецвидов, происходит в основном с позиции управления качеством [1–3]. Авторы по-разному подходят к исследованию подобных технологий и формированию качества готовых отливок, например на этапе проектирования (САПР) [4, 5] или этапе эксплуатации с непосредственной экспериментальной отработкой технологического процесса [6–10]. Последнему подходу, включающему в себя также математическое моделирование на основе полученных промышленных экспериментальных данных технологии ЛНД, посвящены работы [11–13]. Несмотря на то, что все перечисленные исследования в основном ориентированы на решение конкретных практических задач и не содержат в себе системного

© О. А. Чибичик, Р. Н. Степаненко, А. Н. Горощенко, Д. В. Гриценко, Л. А. Салтыков, Д. Н. Макаренко. 2017

обобщения, их результаты позволяют сделать важный вывод. А именно: перспективным является математическое моделирование процессов в условиях литейных цехов и построение адекватных уравнений, описывающих данные процессы. Получение таких уравнений может дать возможность дальнейшего синтеза оптимального управления процессами ЛНД на основе типизации математического описания данного процесса [14].

Цель и задачи исследования. Целью исследования являлось изучение возможности аналитического описания технологических режимов литья под низким давлением для Al-Mg сплавов.

Для достижения цели ставились такие задачи:

– построение уравнения регрессии, описывающего влияние соотношения Al/Mg и температуры на жидкотекучесть Al-Mg сплава;

– анализ полученного уравнения на предмет выявления характера влияния технологических режимов на жидкотекучесть

Методы исследований и полученные результаты. В качестве входных переменных выбирались отношение содержания алюминия к содержанию магния Al/Mg, % (x_1) и температура, °C (x_2). В качестве выходных переменных – жидкотекучесть по прутковой пробе, мм (y).

Учитывая, что из данных экспериментального материала можно «снять» значения входных и выходных переменных в точках плана полного факторного эксперимента ($N=2^k$), в качестве метода построения модели был использован метод построения полного ортогонального центрального композиционного плана второго порядка [15, 16]. Нормирование значений входных переменных осуществлялось по формулам:

$$x_1 = \frac{x_1^* - \bar{x}_1}{I_1}, \quad (1)$$

$$x_2 = \frac{x_2^* - \bar{x}_2}{I_2}, \quad (2)$$

где x_1, x_2 – нормированные значения входных переменных, x_1^*, x_2^* – натуральные значения входных переменных, $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ – средние значения входных переменных ($\bar{x}_1 = 20, \bar{x}_2 = 6$), I_1, I_2 – интервалы варьирования входных переменных ($I_1=10, I_2=1$).

Математическая модель представляется полиномом вида:

$$y_i = b_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 (x_1^2 - \beta) + a_4 (x_2^2 - \beta) + a_5 x_1 x_2, \quad (3)$$

где a_i – оцениваемые коэффициенты, β – параметр, рассчитываемый в зависимости от числа точек ядра композиционного плана 2^{n-p} , плеча «звёздных» точек α и числа точек плана по формуле:

$$\beta = \frac{\sum_{j=1}^N (x_i^j)^2}{N} = \frac{2^{n-p} + \alpha}{N}. \quad (4)$$

Коэффициенты a_i определены по формулам [15, 16]:

$$a_i = c_1 \sum_{j=1}^N x_i^j y^j, i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$a_i = c_2 \sum_{j=1}^N [(x_{i-n}^j)^2 - \beta] y^j, i = n+1, \dots, 2n \quad (6)$$

$$a_i = c_3 \sum_{j=1}^N x_\mu^j x_\lambda^j y^j, \lambda = 1, \dots, n, \mu \neq \lambda, i = 2n+1, \dots, k \quad (7)$$

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y^j - \beta \sum_{i=1}^n a_{n+i} \quad (8)$$

В формулах (5)–(8) c_1, c_2, c_3 – коэффициенты для линейный, квадратичных и парных взаимодействий независимых переменных соответственно, n – число линейных членов модели, N – число экспериментов.

Для полинома второй степени вида (4) значения указанных параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения параметров для расчета коэффициентов кинетической модели

N	β	c_1	c_2	c_3
9	0,6667	0,1667	0,5	0,25

Для оценки точности полученной модели вычислялись суммы квадратов отклонений экспериментальных значений выходных переменных от расчетных, полученных по модели (S_R), и оценки дисперсий (s_R^2):

$$S_R = (y_{\text{экс}} - y_{\text{расч}})^2, \quad (9)$$

$$s^2 = \frac{S_R}{\varphi}, \quad (10)$$

где $\varphi = N - (k+1)$ – число степеней свободы, N – число экспериментов ($N=16$), k – число входных переменных ($k=2$).

Оценка значимости коэффициентов модели проводилась на основе критерия:

$$|a_i| \geq t_{kp} s_i, \quad (11)$$

где t_{kp} – критическое значение распределения Стьюдента для доверительной вероятностью 95 % и числа степеней свободы $\varphi=13$, s – среднее квадратическое отклонение, определяемое из формулы (10).

Полученная математическая модель, описывающее влияние соотношения Al/Mg и температуры на жидкотекучесть Al-Mg сплава, имеет вид:

$$y_1 = 255 - 8,835x_1 + 94,352x_2 - 5,325(x_1^2 - 0,6667) - 16,825(x_2^2 - 0,6667) + 4,25x_1 x_2. \quad (12)$$

На рис. 1 представлена поверхность отклика, описываемая уравнение (12).

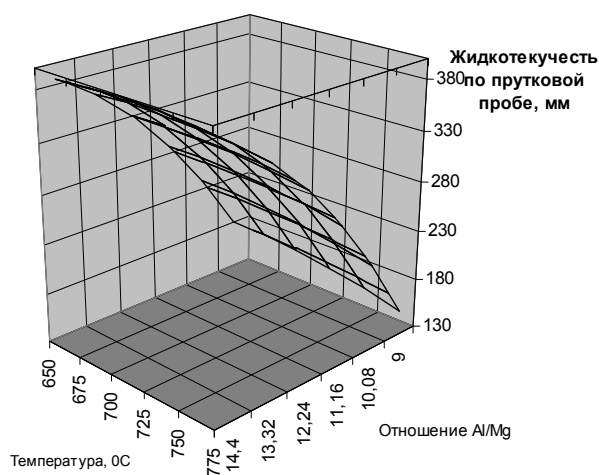


Рис. 1 – Поверхность отклика, описывающая влияние соотношения Al/Mg и температуры на жидкотекучесть Al-Mg сплава

Обсуждение результатов. Для нахождения оптимальных технологических режимов – соотношения Al/Mg и температуры – по критерию максимума жидкотекучести Al-Mg сплава можно воспользоваться методами гребневого анализа поверхности отклика, описанного в работе [17]. Решение оптимизационной задачи в параметрическом виде при этом выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} x^*(\lambda) = (\lambda I - A)^{-1} a, \\ r(\lambda) = \sqrt{x^* x^*}, \\ y^*(\lambda) = a_0 + 2a'x^* + x^* A x^*, \end{cases} \quad (13)$$

где $a_0=155$, $a = \begin{pmatrix} -4,4175 \\ 47,176 \end{pmatrix}$, $A = \begin{pmatrix} -5,325 & 2,125 \\ 2,125 & -16,825 \end{pmatrix}$ – коэффициенты модели (1), λ – собственные числа матрицы A , $x^*(\lambda)$ – оптимальные значения входных переменных, $r(\lambda)$ – радиус цилиндра, вводимого для поиска граничных условий и определения положения оптимальной точки с координатами (x_1^*, x_2^*) на указанной границе факторного пространства, задаваемой вторым уравнением параметрического описания (13), $y^*(\lambda)$ – оптимальные значения выходной переменной (жидкотекучесть по прутковой пробе, мм).

Решение уравнения $|A - \lambda I| = 0$ дает два значения собственных чисел λ из диапазона $-\infty < \lambda < +\infty$, обеспечивающие оптимальные значения выходной переменной. Исследование характера функции $y^*(\lambda)$ в найденных четырех диапазонах входной переменной, разделенной полюсами λ_1 и λ_2 дает возможность найти оптимальные значения выходной переменной и обеспечивающие ее значения входных переменных на границе исследованной области планирования. Именно эти значения входных переменных и являются субоптимальными, обеспечивающими возможность получения высоких показателей жидкотекучести соответствующим подбором технологических режимов – соотношения Al/Mg и температуры Al-Mg сплава для ЛНД

Выводы. Получено адекватное уравнение регрессии, описывающего влияние соотношения Al/Mg и температуры на жидкотекучесть Al-Mg сплава для литья под низким давлением. Показано, что такое влияние может быть описано уравнением регрессии в факторном пространстве 2^2 , которое получено на основе реализации центрального ортогонального композиционного плана (ОЦКП) второго порядка. Проанализирована возможность исследования полученной поверхности отклика для выявления оптимальных значений входных переменных, выступающих главными технологическими режимами литья под низким давлением. В частности, для этого могут быть использованы методы гребневого анализа.

Список литературы:

1. Хорошилов, О. Н. Повышение качества непрерывнолитых заготовок из медных сплавов [Текст] / О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко, А. В. Кипенский, В. В. Наний // *Металлургия машиностроения*. – 2012. – № 12. – С. 29–31.
2. Бреславский, Д. В. Управление качеством непрерывно литых заготовок [Текст] / Д. В. Бреславский, О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко // *Вестник ДДМА*. – 2010. – № 3 (20). – С. 41–46.
3. Дёмин, Д. А. Управление качеством в литейном производстве: технологические аспекты в выборе оптимальных стратегий технического перевооружения [Текст] / Д. А. Дёмин // *Вестник НТУ «ХПИ»*. – 2014. – № 7 (1050). – С. 42–52.
4. Лысенко, Т. В. Адаптивное автоматизированное синхронизирующее проектирование системы "отливка-песчаная форма" [Текст] / Т. В. Лысенко, А. Л. Становский // *Теория и практика процессов измельчения, разделения, смешивания и уплотнения*. – 2008. – С. 82–88.
5. Лысенко, Т. В. Методы самосинхронизации динамических процессов САПР литейного производства [Текст] / Т. В. Лысенко, Г. В. Кострова, А. А. Бондарь // *Труды Одесского политехнического университета*. – 2009. – № 2 (32). – С. 7–10.
6. Доценко, Ю. В. Влияние комплексной технологии на свойства отливок из сплава АК7ч с повышенным содержанием железа [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2011. – № 6/5 (54). – С. 45–48. Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/2282>
7. Доценко, Ю. В. Особенности затвердевания отливок из алюминиевых сплавов при нарастающем давлении и модифицировании [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2012. – № 1/5 (55). – С. 18–22. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3378>.
8. Доценко, Ю. В. Затвердевание отливок из сплава АК5М при комплексном воздействии на расплав [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов // *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. – 2012. – № 1 – С. 3–8.
9. Доценко, Ю. В. Особенности оценки эффективности получения отливок способом литья под высоким давлением [Текст]: зб. наук. пр. / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов, В. В. Мацийчук, С. В. Малых // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2012. – № 9. – С. 21–29.
10. Доценко, Ю. В. Анализ эффективности комплексных технологических решений по повышению качества литейных алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов, К. В. Шейдаев // *XIII International scientific conference. New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. A collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek*, 2012. – P. 211–216.
11. Родионов, Е. М. Технология литья под низким давлением [Текст] / Е. М. Родионов. – М.: НИИмаш, 1984. – 56 с.
12. Чибичик, О. А. Анализ технологического процесса заливки роторов электродвигателя и возможные пути его усовершенствования [Текст] / О. А. Чибичик // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2007. – № 6/1 (30). – С. 55–60.

13. Акимов, О. В. Совершенствование технологических процессов изготовления литых деталей роторов для повышения эксплуатационных характеристик тягового электропривода [Текст] / О. В. Акимов, О. А. Чибичик, А. В. Редькина // Проблемы машиностроения. – 2013. – Т. 16, № 5. – С. 7–12.
 14. Демин, Д. А. Типизация математического описания в задачах синтеза оптимального регулятора технологических параметров литейного производства [Текст] / Д. А. Демин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 1/4 (67). – С. 43–56. Режим доступа: <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/21203/19147>
 15. Демин, Д. А. Методология формирования функционала для задачи оптимального управления электроплавкой [Текст] / Д. А. Демин // Технологический аудит и резервы производства. – 2011. – № 1. – С. 15–24. doi: [10.15587/2312-8372.2011.4082](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2011.4082)
 16. Mohanad, M. K. Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding [Text] / M. K. Mohanad, V. Kostyk, D. Demin, K. Kostyk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 2/5 (80). – P. 45–49. doi: [10.15587/1729-4061.2016.65454](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65454)
 17. Демин, Д. А. Адаптивное моделирование в задаче поиска оптимального управления термовременной обработкой чугуна [Текст] / Д. А. Демин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 6/4 (66). – С. 31–37. – Режим доступа: <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/19453/17110>
- Bibliography (transliterated):**
1. Horoshilov, O. N., Ponomarenko, O. I., Kipenskiy, A. V., Naniy, V. V. (2012). Povyshenie kachestva nepreryvnykh zagotovok iz mednykh splavov. Metallurgiya mashinostroeniya, 12, 29–31.
 2. Breslavskiy, D. V., Horoshilov, O. N., Ponomarenko, O. I. (2010). Upravlenie kachestvom nepreryvno litykh zagotovok. Vestnik DDMA, 3 (20), 41–46.
 3. Demin, D. A. (2014). Upravlenie kachestvom v litejnom proizvodstve: tehnologicheskie aspekty v vybere optimal'nykh strategij tehnikeskogo perevooruzheniya. Vestnik NTU «HP», 7 (1050), 42–52.
 4. Lysenko, T. V., Stanovskiy, A. L. (2008). Adaptivnoe avtomatizirovanoe sinhroniziruyushchee proektirovanie sistemy "otlivka-peschanaia forma". Teoriya i praktika processov izmel'cheniya, razdeleniya, smeshivaniya i uplotneniya, 82–88
 5. Lysenko, T. V., Kostrova, G. V., Bondar, A. A. (2009). Metody samosinhronizatsii dinamicheskikh processov SAPR litejnogo proizvodstva. Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta, 2 (32), 7–10.
 6. Docenko, Ju. V., Seliverstov, V. Ju. (2011). Vliyanie kompleksnoj tehnologii na svoystva otlivok iz splava AK7ch s povyshennym soderzhaniiem zheleza. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (5 (54)), 45–48. Available at: <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/2282>
 7. Docenko, Ju. V., Seliverstov, V. Ju., Macijchuk, V. V., Malyh, S. V. (2012). Osobennosti zatverdevaniya otlivok iz aluminievych splavov pri narastajushhem davlenii i modifizirovanii. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1, 5 (55), 18–22. Available at: <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/3378>
 8. Docenko, Ju. V., Seliverstov, V. Ju., Macijchuk, V. V., Malyh, S. V. (2012). Osobennosti ocenki jeffektivnosti poluchenija otlivok sposobom lit'ja pod vysokim davleniem. Visnik Nacional'nogo tehnicnogo universitetu «HP». Tematichnij vipusk: Novi rishennja v suchasni tehnologijah, 9, 21–29.
 9. Docenko, Ju. V., Seliverstov, V. Ju., Shejdaev, K. V. (2012). Analiz jeffektivnosti kompleksnykh tehnologicheskikh reshenij po povysheniju kachestva litejnykh aluminievych splavov s povyshennym soderzhaniiem zheleza. XIII International scientific conference. New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. A collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek, 211–216.
 10. Rodionov, E. M. (1984). Tehnologija lit'ja pod nizkim davleniem. Moscow: NIImash, 56.
 11. Chibichik, O. A. (2007). Analiz tehnologicheskogo processa zalivki rotorov jelektrodvigatelja i vozmozhnye puti ego usovershenstvovaniya. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (1 (30)) 55–60.
 12. Akimov, O. V., Chibichik, O. A., Red'kina, A. V. (2013). Sovershenstvovanie tehnologicheskikh processov izgotovleniya litykh detalей rotorov dlja povysheniya jekspluatatsionnykh harakteristik tjagovogo jelektroprivoda. Problemy mashinostroeniya, 16 (5) 7–12.
 13. Demin, D. A. (2014). Tipizacija matematicheskogo opisanija v zadachah sinteza optimal'nogo reguljatora tehnologicheskikh parametrov litejnogo proizvodstva. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (4 (67)), 43–56. Available at: <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/21203/19147>
 14. Demin, D. A. (2011). Methodology of forming functional in the optimal control electric smelting. Technology Audit and Production Reserves, 1 (1 (1)), 15–24. doi: [10.15587/2312-8372.2011.4082](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2011.4082)
 15. Mohanad, M. K., Kostyk, V., Domin, D., Kostyk, K. (2016). Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (5 (80)), 45–49. doi: [10.15587/1729-4061.2016.65454](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65454)
 16. Demin, D. A. (2013). Adaptivnoe modelirovanie v zadache poiska optimal'nogo upravlenija termovremennoj obrabotkoj chuguna. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (4 (66)), 31–37. – Available at: <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/19453/17110>

Поступила (received) 06.04.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Оптимизация технологических режимов литья под низким давлением al-mg сплава по критерию максимума жидкотекучести/ О. А. Чибичик, Р. Н. Степаненко, А. Н. Горощенко, Д. В. Гриценко, Л. А. Салтыков // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – No 16(1238). – С. 106–109. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459.

Оптимізація технологічних режимів лиття під низьким тиском al-mg сплаву за критерієм рідкотікучості/ О. А. Чибічик, Р. М. Степаненко, О. М. Горощенко, Д. В. Гриценко, Л. О. Салтыков // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – No 16(1238). – С.106–109. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459.

Optimization of technological modes of low-pressure casting of the al-mg alloy on the castability maximum criterion/ O. Hchibichik, R. Stepanenko, O. Horoshchenko, D. Hrytsenko, L. Saltykov //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 16 (1238).– P. 106–109. – Bibliogr.: 16. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чибічик Ольга Анатоліївна – асистент кафедри ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна; e-mail: litv011@kpi.kharkov.ua

Степаненко Руслан Миколайович – магістр, Кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна.

Горощенко Олександр Миколайович – магістр, Кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002.

Гриценко Дмитро Вікторович – магістр, Кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002.

Салтиков Леонід Олександрович – магістр, Кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002.

Макаренко Дмитро Миколайович – старший викладач, Кафедра хімії, екології та експертних технологій, Національний Аерокосмічний Університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», вул. Чкалова, 17, м. Харків, Україна, 61070; e-mail: d.makarenko@khai.edu

Чибичик Ольга Анатольевна – асистент кафедри литейного виробництва, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002; e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua

Степаненко Руслан Николаевич – магістр, Кафедра литейного виробництва, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002.

Горощенко Александр Николаевич – магістр, Кафедра литейного виробництва, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002.

Гриценко Дмитрий Викторович – магістр, Кафедра литейного виробництва, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002.

Салтыков Леонид Александрович – магістр, Кафедра литейного виробництва, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002.

Макаренко Дмитрий Николаевич – старший преподаватель, Кафедра химии, экологии и экспертизных технологий, Национальный Аэрокосмический Университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», ул. Чкалова, 17, Украина, 61070; e-mail: d.makarenko@khai.edu

Чибичик Olga – Assistant department of Foundry, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; Кирпичова стр., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002; Contacttel.: (057) 707-68-54; e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua

Stepanenko Ruslan – master, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; Кирпичова стр., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002.

Horoshchenko Olexsandr – master, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; Кирпичова стр., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002.

Hrytsenko Dmytro – master, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; Кирпичова стр., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002.

Saltykov Leonid – master, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; Кирпичова стр., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002.

Makarenko Dmytro – Senior lecturer, Department of Chemistry, ecology and expertise technologies, National Aerospace University «Kharkiv Aviation institute», Chkalova str., 17, Kharkiv, Ukraine, 61070.

УДК 533.24.083

Л. П. ШУМСЬКА

ПОРИСТА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЯ НА ОСНОВІ ГЛИНОЗЕМУ

Запропоновано детальний опис способу отримання пористого теплоізоляційного матеріалу на основі глинозему методом низькотемпературної поризації легкоплавкої сировини при мінімальних енергетичних затратах. У роботі досліджені основні теплофізичні процеси, що протікають в сировинній суміші при її нагріванні і спучуванні, завдяки чому можна прогнозувати основні структурні показники готового теплоізоляційного матеріалу, а також передбачити його теплофізичні властивості. Новий пористий теплоізоляційний матеріал можна використовувати для теплового захисту поверхонь у широкому діапазоні температур і вологості.

Ключові слова: теплоізоляційні пористі вироби, термічне спучування, вологовміст, тепломасообмін, теплопровідність, енерговитрати.

Предложено подробное описание способа получения пористого теплоизоляционного материала на основе глинозема методом низкотемпературной поризации легкоплавкого сырья при минимальных энергетических затратах. В работе исследованы основные теплофизические процессы, протекающие в сырьевой смеси при ее нагревании и вспучивании, благодаря чему можно прогнозировать основные структурные показатели готового теплоизоляционного материала, а также предусмотреть его теплофизические свойства. Новый пористый теплоизоляционный материал можно использовать для тепловой защиты поверхностей в широком диапазоне температур и влажности.

Ключевые слова: теплоизоляционные пористые изделия, термическое вспучивание, тепломассообмен, влагосодержание, теплопроводность, энергозатраты.

Insulation porous products based on silicates and silica belong to the most effective materials for protective elements of various purposes. Low density, fire resistance, low thermal conductivity, however, sufficiently high strength structural allow to consider the pore ceramic materials one of the most promising materials for construction.

The article describes a detailed method for the production of a porous insulating material based on alumina by the method of low-temperature porosity of low-melting light-weight raw materials at minimum energy intensity. With the help of differential thermal analysis, the modes of heat treatment have been studied; the rational parameters of thermal bloating have been defined that allows implementing the process with minimal energy consumption with predicted thermal properties of obtained materials.

The result of the study is the establishment of the temperature boundaries of the physicochemical processes in the raw mixtures during heating and the relationship between the composition of the mixture, the heating temperature, and the structure of the material. New porous insulating material can be used for thermal protection of surfaces in a wide range of temperatures and humidity.

Keywords: porous insulation materials, thermal bloating, water content, thermal conductivity, heat-and-mass transfer, moisture content, energy intensity

© Л. П. Шумська. 2017