

ВАКУУМНО-УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА САМОТВЕРДЕЮЩИХ СУСПЕНЗИЙ В ХУДОЖЕСТВЕННОМ ЛИТЬЕ

Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, А.С. Варламов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

В настоящее время для изготовления художественных отливок из цветных сплавов перспективным является литье по выплавляемым моделям в монолитные гипсовые формы. Наибольшее распространение получил Сарасо-process, заключающийся в проведении высокотемпературной прокалики форм для удаления модельного состава и увеличения прочности за счёт частичного спекания формовочной массы. Однако остаётся высокой вероятность появления поверхностных дефектов на отливках в виде наростов и наплывов из-за высокой адсорбции пузырьков воздуха на поверхности выплавляемых моделей. Для предотвращения этого применяют дегазацию смеси путём виброввакуумирования, которое проводят в два этапа: после затворения и перемешивания формовочной массы в промежуточной ёмкости и после заливки смеси в опоку с моделью.

Виброввакуумирование позволяет в достаточной степени дегазировать невысокие формы для мелких, простых моделей и является малоэффективным при изготовлении сложнопрофильных тонкорельефных художественных отливок.

В статье представлен способ изготовления форм из самотвердеющих смесей для литья по выплавляемым моделям. Он основан на использовании вакуумно-ультразвуковой обработки суспензий. Вакуумно-ультразвуковая обработка обеспечивает наибольший эффект дегазации для любых размеров форм. Кроме того, имеющие место акустические течения обеспечивают вывод пузырьков из поднутрений и «карманов» сложнопрофильных, тонкорельефных моделей, что позволяет проводить указанную технологическую операцию в один этап после заливки суспензии в опоку.

Для эффективной дегазации самотвердеющей суспензии разработана методика расчета параметров вакуумно-ультразвуковой обработки. В результате появляется возможность управлять процессом их дегазации, что обеспечивает качественное формообразование для производства художественных изделий.

Ключевые слова: художественное литье; литье по выплавляемым моделям; вакуумно-ультразвуковая дегазация; керамическая форма.

В настоящее время для изготовления художественных отливок из цветных сплавов перспективным является литье по выплавляемым моделям в монолитные гипсовые формы. Наибольшее распространение получил Сарасо-process, заключающийся в проведении высокотемпературной прокалики форм для удаления модельного состава и увеличения прочности за счёт частичного спекания формовочной массы. Однако остаётся высокой вероятностью появления поверхностных дефектов на отливках в виде наростов и наплывов из-за высокой адсорбции пузырьков воздуха на поверхности выплавляемых моделей. Для предотвращения этого применяют дегазацию смеси путём виброввакуумирования, которое проводят в два этапа: после затворения и перемешивания формовочной массы в промежуточной ёмкости и после заливки смеси в опоку с моделью.

Виброввакуумирование позволяет в достаточной степени дегазировать невысокие формы для мелких, простых моделей и является малоэффективным при изготовлении сложнопрофильных тонкорельефных художественных отливок. Кроме того, при использовании указанного способа дегазации удаляются пузырьки размером более 10^{-4} м и практически не представляется возможным

воздействовать на газовые включения меньшего размера.

Учитывая самотвердеющий характер суспензий на гипсовом связующем, представлялось целесообразным разработать эффективный способ их дегазации, основанный на вакуумно-ультразвуковой обработке. Влияние вакуумирования, ультразвуковой и вакуумно-ультразвуковой обработок гипсо-кремнеземистых суспензий на высоту подъема газовых пузырьков представлено на рис. 1. При этом величина остаточного давления воздуха над формой при использовании вакуума составляла 1400...2000 Па. Параметры ультразвука: интенсивность $I = 13...15$ кВт/м², частота $f = 22$ кГц. Радиус пузырьков $r = 90...100$ мкм.

Результаты экспериментов показывают, что вакуумная обработка при больших размерах опоки является малоэффективной для дегазации суспензии (см. рис. 1, кривая 1). Одновременное использование вакуума и ультразвука, разжижающего формовочную суспензию, создает условие для быстрой и более глубокой дегазации высоких форм (см. рис. 1, кривая 3). При этом за счет кавитационного эффекта появляется возможность удалить газовые включения размером не менее 10^{-6} м, а вакуум ускоряет этот процесс.

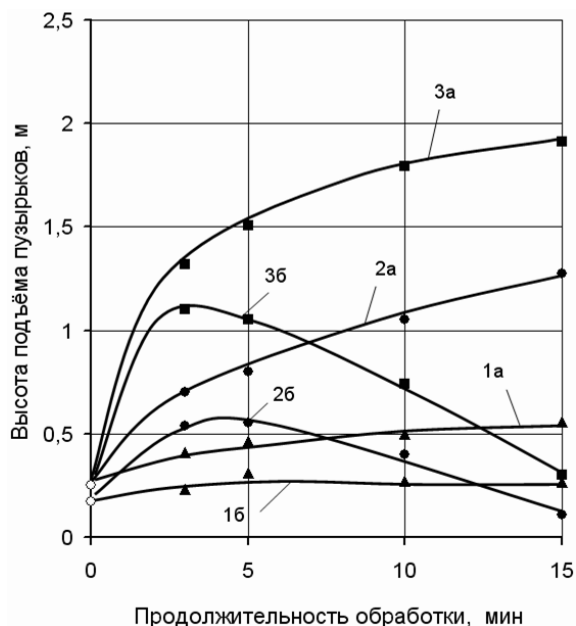


Рис. 1. Влияние способа дегазации на высоту подъема газовых пузырьков в самотвердеющей суспензии: 1 – вакуумная обработка; 2 – ультразвуковая обработка; 3 – вакуумно-ультразвуковая обработка; а – максимальная высота подъема, б – минимальная высота подъема

Таким образом, вакуумно-ультразвуковая обработка обеспечивает наибольший эффект дегазации. Кроме того, имеющие место акустические течения обеспечивают вывод пузырьков из поднутрений и «карманов» сложнопрофильных, тонкорельефных моделей, что позволяет проводить указанную технологическую операцию в один этап после заливки суспензии в опоку.

Для эффективной дегазации самотвердеющей суспензии необходима методика расчета параметров вакуумно-ультразвуковой обработки.

Для их определения можно использовать следующую систему аналитически полученных уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} H &= \frac{2}{9} g \frac{(\rho_c - \rho_r)}{\eta_0} R^2 e^{K_1(\tau_{обр}^k - \tau_{обр}^h)} \times \\ &\times \left(\tau_n - \tau_{обр}^k + \frac{1}{K_2} (1 - e^{-K_2(\tau_n - \tau_{обр}^k)}) \right); \\ R &= \frac{0,4}{f} \left(1 - \frac{(P_{внеш} + P_{ст})}{P_{у3}} \right) \sqrt{\frac{P_{у3}}{\rho_c}}; \\ P_{у3} &= \sqrt{2I\rho_c c}; \\ P_{у3} &\geq P_{внеш} + P_{ст} + \frac{4\sigma}{3r} \sqrt{\frac{2\sigma}{3r(P_{внеш} + P_{ст} + \frac{2\sigma}{r})}}; \\ K_1 &= 0,00077 + 0,3 \cdot 10^{-7} \cdot I - 0,1 \cdot 10^{-7} \cdot f, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где H – высота опоки, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ_c – плотность смеси, кг/м³; ρ_r – плотность газа, кг/м³; η_0 – начальная динамическая

вязкость смеси, Па·с. r – начальный радиус пузырька, м; R – радиус кавитационного пузырька, м; K_1 – коэффициент интенсивности изменения динамической вязкости в зависимости от параметров УЗ воздействия, с⁻¹; K_2 – коэффициент интенсивности изменения динамической вязкости в зависимости от состава смеси, с⁻¹; f – частота ультразвука, Гц; $P_{внеш}$ – внешнее остаточное давление воздуха над формой, Па; $P_{ст}$ – гидростатическое давление, Па; $P_{у3}$ – амплитуда ультразвукового давления, Па; c – скорость распространения ультразвука в среде, м/с; I – интенсивность ультразвука, Вт/м²; $\tau_{обр}^h$, $\tau_{обр}^k$, τ_n , τ_k – моменты времени после затворения формовочной массы, соответствующие началу и концу вакуумно-ультразвуковой обработки, началу и концу схватывания смеси, с; σ – поверхностное натяжение на границе «жидкость – газ», Дж/м².

Система уравнений (1) позволяет выбрать достаточную «глубину» вакуума, величину интенсивности и частоту ультразвукового воздействия для определенного типоразмера опок и рассчитать необходимую продолжительность вакуумно-ультразвуковой обработки для максимальной дегазации самотвердеющей суспензии с известными начальными свойствами.

Опытно-промышленные испытания разработанной вакуумно-ультразвуковой технологии изготовления монолитных форм проводили на широкой номенклатуре художественных отливок из бронзы БрО5Ц5С5 (ГОСТ 613–79) и латуни ЛЦ40С (ГОСТ 17711–93) на ЗАО «Уральская бронза» и ПП «ПСП».

В качестве базовой технологии использовался способ формовки из смеси «Ювелирная-2», основанный на вибровакuumной дегазации суспензий [1, 2]. При этом вибровакuumирование проводили в два этапа: после затворения и перемешивания формовочной массы в промежуточной емкости и после заливки смеси в опоку. Параметры вибровакuumирования: остаточное давление воздуха над формой 1350...1400 Па, амплитуда вибрации 0,5...0,6 мм, общая продолжительность 5...6 мин.

Анализ качества художественного литья показал наличие наростов и просечек у 80 % крупных отливок, изготовленных в формах с вибровакuumной обработкой. Основными причинами выявленных дефектов являются низкая эффективность дегазации смеси на стадии подготовки и недостаточный уровень её прочностных характеристик.

Для получения форм по разработанному способу [3] использовали установку, схема которой показана на рис. 2. После приготовления суспензию переливали в опоку с моделью, установленную на волновод. Опoку закрывали колпаком, подключенным к вакуумному насосу. Включали ультразвуковой генератор и проводили вакуумно-

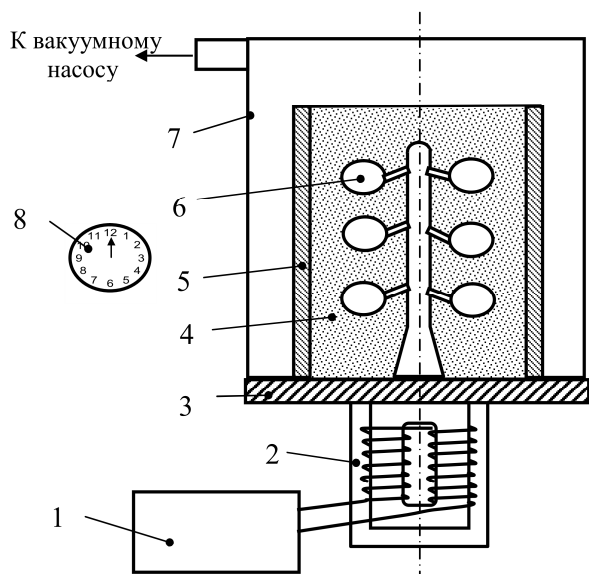


Рис. 2. Установка для вакуумно-ультразвуковой дегазации самотвердеющих суспензий: 1 – генератор ультразвука; 2 – магнитострикционный преобразователь; 3 – волновод; 4 – самотвердеющая суспензия; 5 – опока; 6 – модель; 7 – вакуумная камера; 8 – секундомер

ультразвуковую обработку смеси. Использовались генераторы ультразвука типа УЗГ-22-10, УЗГ-01/22 и магнитострикционные преобразователи ПМС6-22,

ПМС18-36. Остаточное давление над формой соответствовало 1400 Па, а технологические параметры ультразвукового воздействия рассчитывали по формуле (1) в зависимости от высоты опоки.

Сравнительная характеристика физико-механических свойств форм на гипсовом связующем, полученных по базовому и разработанному способу подготовки, представлена в таблице.

Из данных следует, что вибровacuумная обработка создает условия для требуемого уровня дегазации лишь мелких отливок. По мере увеличения высоты опок эффективность этого способа подготовки падает. Вакуумно-ультразвуковая обработка превосходит базовый вариант по степени дегазации суспензии при всех указанных высотах форм. Отливки, полученные по базовой и разработанной технологиям, представлены на рис. 3. Повышение эффективности дегазации суспензии значительно снижает брак отливок по наростам. Увеличение прочностных характеристик форм уменьшает такие литейные дефекты как просечки.

Разработанный способ изготовления форм, основанный на вакуумно-ультразвуковой обработке, позволяет управлять процессом дегазации самотвердеющих суспензий и обеспечивает качественное формообразование для производства художественных изделий литьем по выплавляемым моделям.

Свойства форм при различных способах их изготовления

Показатели	Способ дегазации суспензии	
	Базовый (вибровacuумирование)	Разработанный (вакуумно-ультразвуковая обработка)
1. Объем пор, приходящихся на 1 кг формы, см ³ /кг при высоте опоки: – 100 мм – 400 мм – 800 мм	2,1...2,4 4,3...4,8 6,0...6,4	1,5...1,8 2,0...2,1 3,2...3,4
2. Прочность форм при сжатии, МПа: – после сушки на воздухе, 2 ч – после сушки на воздухе, 24 ч – после прокалики при 800 °С в течение 2 ч (в горячем состоянии)	1,5...1,9 1,9...2,2 1,2...1,4	5,4...5,6 7,2...7,4 7,6...7,8



а)



б)

Рис. 3. Отливки «лев»: а – вибровacuумирование; б – вакуумно-ультразвуковая дегазация

Литература

1. Урвачев, В.П. Ювелирное и художественное литье по выплавляемым моделям сплавов меди / В.П. Урвачёв, В.В. Кочетков, Н.Б. Горина. – Челябинск: Metallurgiya, 1991. – 168 с.

2. Магницкий, О.Н. Художественное литье / О.Н. Магницкий, В.Ю. Пирайнен. – СПб.: Политехника, 1996. – 231 с.

3. Пат. 2162762 Российская Федерация, МКИ В 22 С 1/18. Способ приготовления смеси для изготовления гипсовых форм при производстве отливок из цветных сплавов / Л.Г. Знаменский, Б.А. Кулаков, В.А. Романов, О.В. Ивочкина. – № 99119673/02; заявл. 14.09.1999; опубл. 10.02.2001, Бюл. № 4. – 5 с.

Знаменский Леонид Геннадьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры металлургии и литейного производства, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; znamenskiilg@susu.ac.ru.

Ивочкина Ольга Викторовна, канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии и литейного производства, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; olga@lit.susu.ac.ru.

Варламов Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии и литейного производства, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; doc.varlamov@mail.ru.

Поступила в редакцию 12 февраля 2015 г.

VACUUM-ULTRASONIC TREATMENT OF SELF-HARDENING SLURRY IN ART CASTING

L.G. Znamenskii, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, znamenskiilg@susu.ac.ru,

O.V. Ivochkina, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, olga@lit.susu.ac.ru,

A.S. Varlamov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, doc.varlamov@mail.ru

Currently, investment casting in monolithic gypsum moulds is promising for the manufacture of art castings from non-ferrous alloys. Capaco-process is most widely used. It consists in the high temperature calcination of mould to remove the model composition and increase strength because of partial sintering of the moulding composition. However, there remains a high probability of occurrence of surface defects on the castings as nodules and wart due to the high adsorption of air bubbles on the surface of cast models. To prevent this, slurry degassing by vibrovacuumation is used, which is carried out in two stages: after mixing and kneading the molding material in the intermediate container and then after pouring the mixture in the casting-box with a model.

Vibrovacuum treatment is sufficient to degas the low moulds for small, simple models and is ineffective in the manufacture of complicated thin-profile art castings.

The paper presents a method for manufacturing the moulds of self-hardening mixtures for investment casting. It is based on vacuum ultrasonic treatment of slurry. Vacuum-ultrasonic treatment provides the greatest effect of degassing for any size of mould. Also the acoustic streaming provides an outlet of air bubbles from undercuts and “pockets” of complicated thin-profile models that allows to carry out the process in one step after pouring the slurry in the casting-box.

For effective degassing of self-hardening slurry a method was developed for calculating the parameters of vacuum-ultrasonic treatment. As a result, it becomes possible to control the process of degassing of self-hardening slurry, which provides high-quality forming for the production of art castings.

Keywords: art casting; investment casting; vacuum-ultrasonic degassing; ceramic mould.

References

1. Urvachev V.P., Kochetkov V.V., Gorina N.B. *Yuvelirnoe i khudozhestvennoe lit'e po vyplavlyаемым modelyam splavov medi* [Jewelry and Art Investment Casting of Copper Alloys]. Chelyabinsk, Metallurgiya Publ., 1991. 168 p.

2. Magnitskiy O.N., Piraynen V.Yu. *Khudozhestvennoe lit'e* [Art Casting]. St. Petersburg, Politekhnik Publ., 1996. 231 p.

3. Znamenskiy L.G., Kulakov B.A., Romanov V.A., Ivochkina O.V. *Sposob prigotovleniya smesi dlya izgotovleniya gipsovykh form pri proizvodstve otlivok iz tsvetnykh splavov* [Method of Preparing a Mixture for Making Plaster Molds in the Production of Castings of Non-Ferrous Alloys]. Patent RF, no. 2162762, 1999.

Received 12 February 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Знаменский, Л.Г. Вакуумно-ультразвуковая обработка самотвердеющих суспензий в художественном литье / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, А.С. Варламов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 105–109.

FOR CITATION

Znamenskii L.G., Ivochkina O.V., Varlamov A.S. Vacuum-Ultrasonic Treatment of Self-Hardening Slurry in Art Casting. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 105–109. (in Russ.)
