

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ОДНОРАЗОВЫХ И МНОГОРАЗОВЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ЯЩИКОВ

Гутько Ю.И., Войтенко В.В.

Луганский государственный университет имени В. Даля, Луганск

Аннотация. Постановка задачи. В литейном производстве наблюдается устойчивая тенденция поиска новых и развития существующих стержневых технологий, характеризующихся повышенной безопасностью и экологичностью. Несмотря на то, что существует ряд перспективных стержневых технологий, таких как Cold-Vox-Amin, Эпокси-SO₂ и Резол-CO₂, жидкостекольная стержневая технология, относящаяся к наиболее безопасным и экологичным, имеет значительные резервы для дальнейшего развития – повышения сложности литейных стержней и производительности стержневого процесса. Конкурентоспособность жидкостекольного стержневого процесса может быть повышена путем экономии в стержневой смеси жидкого стекла и феррохромового шлака, что повышает выбиваемость литейных стержней из отливок, однако снижает их манипуляторную и максимальную прочность. Данная научно-техническая задача может быть решена путем выбора материала стержневого ящика с учетом его физико-технических свойств и подбора соответствующей рецептуры стержневой смеси. **Цель.** Исследование и выбор материалов для изготовления стержневых ящиков, используемых в жидкостекольной стержневой технологии. **Используемые методы.** Сравнительный анализ технологических свойств материалов, пригодных для изготовления стержневых ящиков, используемых в жидкостекольной стержневой технологии. **Новизна.** Обсуждаются результаты экспериментальных исследований применения различных материалов для изготовления стержневых ящиков, используемых в жидкостекольной стержневой технологии, и даются рекомендации по их применению. **Результаты.** Определены усилия, необходимые для извлечения жидкостекольного литейного стержня из стержневого ящика, для различных материалов стержневых ящиков. Измерен класс эксплуатационной шероховатости рабочей поверхности стержневого ящика из различных материалов в процессе эксплуатации и установлено его влияние на необходимую величину манипуляторной прочности литейного стержня. Определен средний по рабочей поверхности стержневого ящика износ для различных материалов стержневого ящика. **Практическая значимость.** Даются рекомендации по применению различных материалов для изготовления стержневых ящиков, используемых в жидкостекольной стержневой технологии, а также рекомендуется состав стержневой смеси в зависимости от материала стержневого ящика.

Ключевые слова: жидкостекольный литейный стержень, стержневая смесь, стержневой ящик, древесина, сталь, полиуретан, полиэтилен, силикон, каучук.

© Гутько Ю.И., Войтенко В.В., 2021

Для цитирования

Гутько Ю.И., Войтенко В.В. Перспективные материалы для изготовления одноразовых и многоразовых стержневых ящиков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т. 19. №3. С. 54–60. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-3-54-60>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

ADVANCED MATERIALS FOR MANUFACTURING DISPOSABLE AND REUSABLE CORE BOXES

Gutko Yu.I., Voytenko V.V.

Vladimir Dahl Lugansk State University, Lugansk

Abstract. Problem Statement. The foundry shows a constant trend in a search for new core-making technologies and development of existing ones characterized by higher safety and environmental friendliness. There are the following advanced core manufacturing technologies: Cold-Box-Amin, Epoxy-SO₂, and Resol-CO₂. Nevertheless, a sodium silicate core-making process, attributed to the safest and the most eco-friendly technologies, has significant reserves for its advanced development, it is possible to increase the complexity of mold cores and performance of the core-making process. Competitiveness of the sodium silicate core-making process can be enhanced by saving sodium silicate and ferrochromium slag in a core mixture to increase the breakdown property of mold cores from castings, but this reduces their operational and maximum strength. This research and technical issue can be solved by choosing the core box material, considering its physical and mechanical properties, and selecting the appropriate core mixture composition. **Objective.** The research is aimed at studying and choosing materials for manufacturing core boxes used in the sodium silicate core-making technology. **Methods Applied.** The comparative analysis of the mechanical properties of the core box materials in the sodium silicate core-making technology. **Originality.** The paper describes the experimental results of the use of various core box materials in the sodium silicate core-making technology and provides the recommendations on the use of these materials. **Results.** The authors determined force of extraction for a sodium silicate core from a core box for various core box materials. They measured an operational surface roughness class of the effective area of the core boxes made of various materials and determined its effect on the required value of the operational structural robustness of a mold core. An average wear of a core box effective area is determined for various core box materials. **Practical Relevance.** The paper contains the recommendations on the use of various core box materials for the sodium silicate core-making technology and a core mixture composition depending on a core box material.

Keywords: sodium silicate mold core, core mixture, core box, wood, steel, polyurethane, polyethylene, silicone, rubber.

For citation

Gutko Yu.I., Voytenko V.V. Advanced Materials for Manufacturing Disposable and Reusable Core Boxes. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2021, vol. 19, no. 3, pp. 54–60. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-3-54-60>

Введение

Широкое распространение в литейном производстве получили песчаные литейные стержни, основным компонентом которых является кварцевый песок [1]. В качестве связующего вещества могут быть использованы как синтетические смолы, так и растворы силикатов, отверждаемые жидкими либо газообразными катализаторами (отвердителями) [2]. Применение различных добавок к стержневой смеси способствует повышению манипуляторной прочности песчаного литейного стержня, а также улучшению выбиваемости литейных стержней из отливок, в том числе благодаря снижению пригара [3]. В качестве добавок к жидкостекольной стержневой смеси могут выступать как органические, так и неорганические соединения, которые в процессе термического разложения приводят к образованию твердых и газообразных продуктов разложения, которые способны оказывать влияние как на саму отливку, так и на условия труда в литейном цехе [4]. Повышение требований к экологичности литейного производства дает новый толчок к развитию стержневых технологий,

среди которых одной из наиболее экологичных и безопасных является жидкостекольная стержневая технология. Высокая доступность и низкая стоимость жидкого стекла определяется сравнительно простой технологией его получения, которая может быть организована непосредственно на стержневом участке литейного цеха [5]. Как само жидкое стекло, так и продукты разложения песчаного литейного стержня на его основе в процессе изготовления отливки не относятся к токсичным веществам, что делает жидкостекольную стержневую технологию перспективной и имеющей резервы для своего дальнейшего развития [6].

Одним из недостатков жидкостекольной стержневой технологии является сложность получения жидкостекольных литейных стержней высокой сложности и хорошей выбиваемости из отливок [7]. Повышение процентного содержания жидкого стекла в стержневой смеси приводит к увеличению манипуляторной и максимальной прочности литейного стержня, что подтверждается при испытаниях литейных стержней на прочность при растяжении, сжатии и из-

гибе, однако при этом ухудшается выбиваемость литейных стержней из отливок [8]. Использование рецептур жидкостекольных стержневых смесей с содержанием феррохромового либо металлургического шлака способно повысить манипуляторную и максимальную прочность жидкостекольных литейных стержней и при этом улучшить их выбиваемость из отливок [9].

Компромисс между приемлемой манипуляторной прочностью, позволяющей изготавливать литейные стержни сложной формы, и приемлемой выбиваемостью из отливок жидкостекольных литейных стержней может быть найден путем подбора материалов для изготовления стержневых ящиков с достаточной упругостью, высокой износостойкостью и малой адгезионной способностью к жидкостекольной стержневой смеси [10]. Также требуется одновременно с анализом эксплуатационных свойств материала стержневого ящика выполнить подбор рецептуры жидкостекольной стержневой смеси таким образом, чтобы получить наилучшее сочетание эксплуатационных свойств литейного стержня. Поэтому проведение исследований по подбору по физико-техническим свойствам материалов для изготовления стержневых ящиков, используемых в жидкостекольной стержневой технологии, а также соответствующих рецептур жидкостекольной стержневой смеси является актуальной научно-технической задачей.

Целью работы является исследование и выбор материалов для изготовления стержневых ящиков, используемых в жидкостекольной стержневой технологии.

Методика проведения исследований

Анализ физико-технических свойств применяемых материалов и технологических свойств стержневых ящиков и их влияние на физико-технические свойства жидкостекольных литейных стержней выполнялся для материалов, из которых стержневые ящики получены механической обработкой, и для материалов, из которых стержневые ящики получены путем заполнения формы раствором либо расплавом. Определялась адгезия поверхности стержневого ящика к поверхности жидкостекольного литейного стержня после набора им манипуляторной прочности при однократном и многократном использовании стержневого ящика. Для этого при помощи динамометра измерялась сила, приходящаяся на единицу контактирующей площади стержневого ящика с литейным стержнем при его извлечении из стержневого ящика. Дополни-

тельно при помощи оптического микроскопа со 100-, 200-, 500- и 1000-кратным увеличением определялась шероховатость рабочей поверхности стержневого ящика и ее изменение при многократном применении стержневого ящика для различных материалов, из которых он был изготовлен. Таким образом определялись износостойкость рабочих поверхностей стержневого ящика и необходимое усилие для извлечения из него жидкостекольного литейного стержня, позволяющие оценить необходимую величину манипуляторной прочности литейного стержня, обеспечивающую его извлечение из стержневого ящика без повреждений.

Контроль манипуляторной и максимальной прочности жидкостекольных литейных стержней осуществлялся при помощи испытаний литейных стержней на растяжение, сжатие и изгиб, проводимых на машине для испытаний на прочность. Упругость материала стержневого ящика определялась по результатам косвенных измерений: сначала путем прямых измерений определялась величина деформации исследуемого материала от приложенной силы, измеряемой при помощи динамометра, а затем выполнялся расчет коэффициента упругости материала. Измерение времени полимеризации (затвердевания) жидких в исходном состоянии материалов, таких как силикон, полиуретан, каучук, выполнялось в двух случаях: при нахождении заполненной формы при нормальных условиях и при нахождении заполненной формы в вакууме. Таким образом определялась возможность изготовления стержневого ящика вакуумированием формы и возможность ускорения процесса изготовления стержневого ящика. Стержневые ящики из древесины, стали и полиэтилена изготавливались путем механической обработки материала с использованием токарного, сверлильного и фрезерного станков, а также с использованием разверток для повышения класса шероховатости поверхностей.

Полученные результаты и их обсуждение

Сравнительный анализ физико-технических характеристик различных материалов, используемых для изготовления стержневых ящиков в жидкостекольной стержневой технологии, выполнялся для жидкостекольной стержневой смеси следующего состава: кварцевый песок – 75% ; металлургический шлак – 5% ; натриевое жидкое стекло плотностью 1,442 кг/л – 20%. Стержневая смесь с повышенным содержанием жидкого стекла была выбрана с целью получения максимальных значений усилий, необходимых для

извлечения жидкостекольных литейных стержней из стержневых ящиков, изготовленных из различных материалов. Результаты измерения усилия, необходимого для извлечения жидкостекольного литейного стержня после набора им необходимой манипуляторной прочности из стержневых ящиков, изготавливаемых из различных материалов, приведены в **табл. 1**.

Материалы, из которых были изготовлены исследованные стержневые ящики (см. **табл. 1**), приведены в порядке возрастания усилия, необходимого для извлечения литейного стержня из стержневого ящика. Из приведенных данных следует, что наименьшим усилием извлечения характеризуются стержневые ящики, изготовленные путем заполнения формы жидким силиконом, например марки SKR-781, и полиуретановой монтажной пеной. При изготовлении стержневых ящиков с помощью механической обработки минимальными усилиями извлечения жидкостекольных литейных стержней из них характеризуются такие материалы, как стеклотекстолит и полиэтилен.

В **табл. 2** приведены результаты исследования изменения класса шероховатости рабочей поверхности стержневых ящиков, изготовленных из различных материалов, данные по исходному классу шероховатости, определенному технологией изготовления и свойствами материала, а также по эксплуатационному классу шероховатости после ста циклов заполнения и извлечения из стержневого ящика жидкостекольного литейного стержня. Эксплуатационная шероховатость рабочих поверхностей стержневого ящика оказывает заметное влияние на изменение условий извлечения литейных стержней из стержневых ящиков, изменяясь в большую сторону от полутора до трех раз – это необходимое условие для извлечения литейного стержня из стержневого ящика. Возможность увеличения усилия извлечения до трех раз в процессе экс-

плуатации стержневого ящика должна учитываться на стадии выбора величины необходимой манипуляторной прочности жидкостекольного литейного стержня, что приводит к увеличению процентного содержания в жидкостекольной стержневой смеси жидкого стекла и металлургического либо феррохромового шлака.

Исследования соотношения между усилием, необходимым для извлечения жидкостекольного литейного стержня из стержневого ящика, и его манипуляторной прочностью показали, что использование силиконового компаунда в качестве материала для изготовления стержневого ящика позволяет применять стержневые смеси с содержанием жидкого стекла в количестве от 4,5% и манипуляторной прочностью литейного стержня от 50 кПа, а использование полиуретановой монтажной пены потребует увеличения манипуляторной прочности литейного стержня до 150 кПа и увеличения необходимого процентного содержания жидкого стекла от 6%. Использование полиэтилена для изготовления стержневого ящика потребует увеличения манипуляторной прочности жидкостекольного литейного стержня до 500 кПа и соответствующего процентного содержания жидкого стекла в стержневой смеси от 12 до 16% при содержании феррохромового либо металлургического шлака в количестве 6–8%. Использование других материалов (см. **табл. 2**) потребует дальнейшего повышения манипуляторной прочности литейных стержней и увеличения в них доли жидкого стекла и феррохромового шлака.

Таким образом, силиконовый компаунд является перспективным материалом для изготовления стержневых ящиков, позволяющим получить качественные жидкостекольные литейные стержни любой сложности с минимальными требованиями по величине манипуляторной прочности и минимально необходимым усилием извлечения литейного стержня из стержневого ящика.

Таблица 1. Усилия, необходимые для извлечения жидкостекольного литейного стержня из стержневого ящика, для различных материалов стержневых ящиков

Table 1. Force of extraction for a sodium silicate mold core from a core box for various core box materials

| Материал стержневого ящика | Силиконовый компаунд Silikon SKR-781 | Полиуретановая монтажная пена | Стекло-текстолит | Древесина (дуб) | Полиэтилен | Акриловый герметик | Каучук (резина) | Сталь Ст3кп | Полиуретан | Фанера |
|---|--------------------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|------------|--------------------|-----------------|-------------|------------|--------|
| Усилие извлечения литейного стержня из стержневого ящика, кПа | 1,1 | 2,2 | 6,5 | 19,6 | 27,2 | 28,3 | 39,2 | 54,4 | 137,8 | 174,0 |

Таблица 2. Изменение класса шероховатости рабочей поверхности стержневых ящиков, изготовленных из различных материалов, в процессе эксплуатации

Table 2. Change in the effective area roughness class of core boxes made of various materials during their operation

| Материал стержневого ящика | Исходная шероховатость, класс | Эксплуатационная шероховатость, класс | Абсолютное изменение шероховатости, класс | Относительное изменение класса шероховатости, % |
|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Силиконовый компаунд Silikon SKR-781 | 8 | 7 | 1 | 12,5 |
| Сталь СтЗкп | 8 | 7 | 1 | 12,5 |
| Каучук (резина) | 5 | 4 | 1 | 20,0 |
| Стеклотекстолит | 6 | 4 | 2 | 33,3 |
| Фанера | 2 | 1 | 1 | 50,0 |
| Полиуретан | 3 | 1 | 2 | 66,7 |
| Полиэтилен | 8 | 2 | 6 | 75,0 |
| Древесина (дуб) | 4 | 1 | 3 | 75,0 |
| Акриловый герметик | 4 | 1 | 3 | 75,0 |
| Полиуретановая монтажная пена | 8 | 1 | 7 | 87,5 |

В табл. 3 приведены результаты исследования среднего по рабочей поверхности стержневого ящика износа за сто циклов заливок и извлечений жидкостекольной стержневой смеси из стержневого ящика, изготовленного из различных материалов. Материалы, из которых был изготовлен стержневой ящик, расположены в порядке увеличения износа при эксплуатации. Снова силиконовый компаунд марки SKR-781, используемый для изготовления форм белого цвета, имеет наименьший износ благодаря высокой пластичности и упругости. Таким образом, силиконовый компаунд обладает высокой износостойкостью по сравнению с более твердыми и менее упругими материалами. Данные по стеклотекстолиту лучше, чем по стали СтЗкп, так как использован стеклотекстолит высокой плотности и твердости. Для других сталей более высокого качества износ будет закономерно меньший, чем износ стеклотекстолита обычного качества, износостойкость которого зависит от применяемой смолы и отвердителя.

Приведенные авторами результаты исследований позволяют сделать обоснованный выбор материала для изготовления стержневого ящика. Следует отметить, что силиконовый компаунд может с успехом использоваться для изготовления стержневых ящиков любой сложности, в том числе для изготовления литейных стержней по выплавляемым восковым моделям сложной формы. Силикон выдерживает нагрев до 150–450°C в зависимости от добавок и наполнителей, поэтому нагревом стержневого ящика можно выплавить восковую модель высокой сложности. Таким образом могут быть получены литейные стержни особой сложности, получение которых другими

способами трудно осуществить. Стержневой ящик из силикона потребует каркаса, например металлического (авторами использован алюминиевый каркас), который бы обеспечивал не только внешние границы при заливке силикона в процессе изготовления стержневого ящика, но и последующую объемную жесткость силиконового стержневого ящика. Объемная жесткость силикона может быть увеличена путем добавления в него специального загустителя, а также введения в его состав различных наполнителей в виде порошков, гранул, волокон либо их комбинации.

Таблица 3. Средний по рабочей поверхности стержневого ящика износ за сто заливок и извлечений жидкостекольной стержневой смеси

Table 3. An average wear of a core box effective area for 100 pouring and extraction cycles of the sodium silicate core mixture

| Материал стержневого ящика | Средний по поверхности стержневого ящика износ за сто заливок и извлечений, мкм |
|--------------------------------------|---|
| Силиконовый компаунд Silikon SKR-781 | 2,6 |
| Стеклотекстолит | 3,6 |
| Сталь СтЗкп | 7,6 |
| Полиэтилен | 26,3 |
| Фанера | 50,9 |
| Полиуретан | 100,2 |
| Каучук (резина) | 111,1 |
| Полиуретановая монтажная пена | 132,0 |
| Акриловый герметик | 180,7 |
| Древесина (дуб) | 263,3 |

Поскольку в ряде случаев удобно заполнять форму при изготовлении силиконового стержневого ящика путем создания внешнего избыточного давления либо путем вакуумирования формы, авторами были исследованы процессы высыхания силикона и полиуретановой монтажной пены, удобной для изготовления стержневых ящиков для мелкосерийного и разового использования. Установлено, что вакуумирование способствует качественному заполнению формы, однако длительное нахождение формы под вакуумом замедляет процесс полимеризации силикона в ней. Поэтому после короткой выдержки – около 5 мин – под вакуумом форма должна быть снова помещена в воздушную атмосферу с температурой в диапазоне 50–60°C, при которой время полимеризации силикона составляет от одних до пяти суток в зависимости от конструкции стержневого ящика, наличия загустителей и наполнителей, а также толщины слоя силикона.

Применение полиуретановой монтажной пены для изготовления стержневых ящиков наиболее удобно, если форма для изготовления стержневого ящика представляет собой открытый с одной стороны ящик, что позволяет полиуретановой монтажной пене свободно расширяться и быстро – в течение 30–60 мин – полимеризоваться. Регулировать плотность полиуретановой монтажной пены и условия для заполнения формы возможно путем создания внешнего давления, препятствующего интенсивному увеличению заполненного полиуретановой монтажной пеной объема. Создание разряжения при заполнении полиуретановой монтажной пеной формы может привести к дегазации пены и не будет способствовать ее полимеризации. Поэтому в данном случае вакуумирование формы для лучшего заполнения неэффективно.

Заключение

Проведен сравнительный анализ технологических свойств различных материалов, пригодных для изготовления стержневых ящиков, используемых в жидкостекольной стержневой технологии. Исследованы такие параметры материалов, как износостойкость при контакте с жидкостекольной стержневой смесью, упругость, время полимеризации материала стержневого ящика для изначально жидких материалов, адгезия поверхности используемого материала к жидкостекольной стержневой смеси, гигроскопичность, газопроницаемость и термостойкость. Результаты экспериментальных исследований применения различных материалов для изготовления стерж-

невых ящиков для жидкостекольной стержневой технологии позволили сформулировать рекомендации по возможному их применению и по оптимальному содержанию в стержневой смеси жидкого стекла и феррохромового шлака.

Проведенные исследования показали, что перспективным материалом для изготовления стержневых ящиков является силикон, применение которого снижает манипуляторную прочность жидкостекольных литейных стержней за счет малого усилия, необходимого для извлечения литейного стержня из стержневого ящика, а также дает возможность повысить сложность формы стержневого ящика и его износостойкость. Применение силикона в качестве материала для изготовления стержневых ящиков позволяет значительно повысить сложность формы литейных стержней за счет применения выплавленных моделей из воска, парафина и других легкоплавких материалов. Недостатком силикона является длительное время полимеризации, что следует учитывать при единичном и мелкосерийном литейном производстве, а также его высокая стоимость, которая может быть снижена за счет применения различных наполнителей.

Применение полиуретановой монтажной пены удобно при единичном и мелкосерийном производстве отливок, так как позволяет сравнительно быстро изготавливать стержневые ящики достаточно высокой сложности, позволяющие получать жидкостекольные литейные стержни с малыми значениями манипуляторной прочности и, следовательно, экономить жидкое стекло и феррохромовый шлак. Такие стержневые ящики имеют более высокую гигроскопичность, что улучшает условия для набора манипуляторной прочности жидкостекольным литейным стержнем в среде углекислого газа и способствует лучшей потере влаги по сравнению со стержневым ящиком, изготовленным из силикона.

Список литературы

1. Sabine Anzualda. Metal Producing Process: A Complete Guidelines to Manufacture: Advanced Metal Casting Ppt. 2021. 154 с.
2. Alan Tomsett. Light Metals 2020 (The Minerals, Metals, & Materials Series). New York City, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, 2020. 1395 с. ISBN: 978-3030364076.
3. Mikell P. Groover. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. 7th Ed. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2020. 816 с. ISBN: 978-1119722014.
4. Holtzer M., Kmita A. Mold and Core Sands in Metalcasting: Chemistry and Ecology Sustainable Development. New York City, Dordrecht, Heidelberg, London:

- Springer, 2020. 378 c. ISBN: 978-3-030-53210-9.
5. Manufacturing Technology – KL / S. Ramachandran, R. Devaraj, S. Ramesh, N. Balaji. Chennai, India: Airwalk Publications, 2017. 880 c. ISBN: 978-8192403137.
 6. Burns T.A. The Foseco Foundryman's Handbook: Facts, Figures, and Formulae. 9th Ed. Pergamon, 2017. 446 c. ISBN: 978-0080325491.
 7. Jain P.L. Principles of Foundry Technology. 5th Ed. New York City: Tata McGraw Hill Publishing Co., Ltd.; 2014. 479 c. ISBN: 978-0-07-015129-1.
 8. Srinivasan M. Science and Technology of Casting Processes. London: IntechOpen Limited, 2012. 350 c. ISBN: 978-953-51-6237-7 (eBook). ISBN: 978-953-51-0774-3 (Hardcover Book). DOI: 10.5772/3128. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/3128>.
 9. Wang W., Conley H.W., Stoll J.G. Rapid Tooling Guidelines for Sand Casting. New York City, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, 2010. 164 c. ISBN: 978-1-4419-5731-3 (eBook). ISBN: 978-1-4419-5730-6 (Hardcover Book).
 10. Brown J.R. Foseco Ferrous Foundryman's Handbook. 11th Ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2000. 384 c. ISBN: 978-0-0805-0679-1 (eBook). ISBN: 978-0-0809-7397-5 (Softcover Book). ISBN: 978-0-7506-4284-2 (Hardcover Book).
 3. Mikell P. Groover. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. 7th ed. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2020, 816 p. ISBN: 978-1119722014.
 4. Holtzer M., Kmita A. Mold and core sands in metalcasting: chemistry and ecology sustainable development. New York City, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, 2020, 378 p. ISBN: 978-3-030-53210-9.
 5. Ramachandran S., Devaraj R., Ramesh S., Balaji N. Manufacturing technology – KL. Chennai, India: Airwalk Publications, 2017, 880 p. ISBN: 978-8192403137.
 6. Burns T.A. The Foseco foundryman's handbook: facts, figures, and formulae. 9th ed. Pergamon, 2017, 446 p. ISBN: 978-0080325491.
 7. Jain P.L. Principles of foundry technology: fifth edition. New York City: Tata McGraw Hill Publishing Co., Ltd., 2014, 479 p. ISBN 978-0-07-015129-1.
 8. Srinivasan M. Science and technology of casting processes. London: IntechOpen Limited, 2012, 350 p. ISBN: 978-953-51-6237-7 (eBook). ISBN: 978-953-51-0774-3 (Hardcover Book). DOI: 10.5772/3128. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/3128>.
 9. Wang W., Conley H.W., Stoll J.G. Rapid tooling guidelines for sand casting. New York City, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, 2010, 164 p. ISBN: 978-1-4419-5731-3 (eBook). ISBN: 978-1-4419-5730-6 (Hardcover Book).
 10. Brown J.R. Foseco ferrous foundryman's handbook: 11th edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2000, 384 p. ISBN 978-0-0805-0679-1 (eBook). ISBN 978-0-0809-7397-5 (Paperback). ISBN 978-0-7506-4284-2 (Hardcover).

References

Поступила 08.05.2021; принята к публикации 31.05.2021; опубликована 27.09.2021
Submitted 08/05/2021; revised 31/05/2021; published 27/09/2021

Гутько Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, первый проректор, Луганский государственный университет имени В. Даля, Луганск.
Email: lguni.lit@yandex.ru

Войтенко Валерий Владимирович – аспирант кафедры промышленного и художественного литья, Луганский государственный университет имени В. Даля, Луганск.
Email: valery.voytenko@outlook.com

Yury I. Gutko – DrSc (Eng.), Professor, First Vice-Rector, Vladimir Dahl Lugansk State University, Lugansk.
Email: lguni.lit@yandex.ru

Valery V. Voytenko – postgraduate student of the Industrial and Art Castings Department, Vladimir Dahl Lugansk State University, Lugansk.
Email: valery.voytenko@outlook.com