

## ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО FOUNDRY ENGINEERING

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 621.74

DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-3-25-33

### ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ РАЗУПРОЧНЯЮЩИХ ДОБАВОК В ПРАКТИКЕ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЕЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ

Леушин И.О., Кошелев О.С., Маслов К.А., Титов А.В.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

**Аннотация. Актуальность и цель исследования:** статья представляет собой обзор существующих решений по одной из актуальных проблем литейного производства – проблеме затруднённой выбиваемости литейных стержней из отливок. **Результаты исследования:** в статье отмечено, что в наибольшей степени проблема выбиваемости характерна для жидкостекольных стержневых смесей. Представлен широкий спектр применяемых органических и неорганических добавок. Показаны их главные преимущества и недостатки. В меньшей степени проблема выбиваемости стержней существует и для других типов стержневых смесей, например для фосфатных смесей и смесей для Cold-box-amin процесса. В статье делается попытка определить основные направления решения проблемы затруднённой выбивки стержней в зависимости от механизма (физической природы) разупрочнения. В результате предлагаются пять основных направлений решения проблемы выбиваемости стержней. **Выводы:** по мнению авторов статьи, определены два наиболее перспективных направления поиска универсальных разупрочняющих добавок. Первое из них – применение в составе стержневых смесей порообразующих веществ. Второе направление подразумевает использование терморасширяющихся добавок. Эти добавки можно будет применять для нескольких типов стержневых смесей. При этом эксплуатационные характеристики стержня будут оставаться на высоком уровне. Были также перечислены основные требования к универсальным разупрочняющим добавкам.

**Ключевые слова:** стержневая смесь, литейный стержень, жидкостекольная смесь, затруднённая выбиваемость, разупрочняющие добавки.

© Леушин И.О., Кошелев О.С., Маслов К.А., Титов А.В., 2020

#### Для цитирования

Оценка применения разупрочняющих добавок в практике производства литейных стержней. Леушин И.О., Кошелев О.С., Маслов К.А., Титов А.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т.18. №3. С. 25–33. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-3-25-33>



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

ASSESSMENT OF THE USE OF SOFTENING ADDITIVES  
IN THE PRACTICE OF MANUFACTURING CASTING CORES

Leushin I.O., Koshelev O.S., Maslov K.A., Titov A.V.

Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract. Relevance and objective of the study:** The paper is a review of the existing solutions to one of the urgent problems of foundry, namely the problem of a difficult knocking-out ability of casting cores from castings. **Findings:** The paper outlines that to the greatest extent the problem of the knocking-out ability is typical for liquid glass core mixtures. A wide range of used organic and inorganic additives is presented. Their main advantages and disadvantages are shown. To a lesser extent, the problem of the core knocking-out ability exists for other types of core mixtures, for example, for phosphate mixtures and mixtures for a cold-box-amin process. The authors made an attempt to determine the main directions taken to solve the problem of the difficult knocking-out ability of cores depending on the mechanism (physical nature) of softening. As a result, the paper proposes five main directions for solving the problem of a core knocking-out ability. **Conclusions:** The authors of the paper identified two most promising directions in the search for universal softening additives. The first of them is the use of pore-forming substances in the core mixtures. The second direction involves the use of thermal expansion additives. These additives can be used for several types of core mixtures. At the same time, the operating characteristics of the core will remain at a high level. The paper also presents a list of basic requirements for universal softening additives.

**Keywords:** core mixture, casting core, liquid glass mixture, difficult knocking-out ability, softening additives.

## For citation

Leushin I.O., Koshelev O.S., Maslov K.A., Titov A.V. Assessment of the Use of Softening Additives in the Practice of Manufacturing Casting Cores. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020, vol. 18, no. 3, pp. 25–33. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-3-25-33>

## Постановка проблемы

Применяемые в литейном производстве стержневые смеси должны обладать определённым комплексом технологических свойств. Безусловно, одним из таких свойств является хорошая выбиваемость стержней.

Некоторые из стержневых смесей, обладая вполне удовлетворительными характеристиками, плохо выбиваются из отливок. Наиболее яркий пример – жидкостекольные стержневые смеси. Причиной их плохой выбиваемости является высокая остаточная прочность стержня, обусловленная образованием при температуре выше 800°C легкоплавкой эвтектики (21,6 % Na<sub>2</sub>O и 73 % SiO<sub>2</sub>), которая после охлаждения цементирует зёрна песка в монолитную массу [1].

Проблема затруднённой выбиваемости присуща также и другим стержневым смесям. Например, стержни сложной геометрической формы, изготовленные Cold-box-amin процессом, плохо выбиваются из алюминиевых отливок [2]. Наиболее вероятной причиной можно считать относительно невысокую температуру прогрева стержня, недостаточную для полного разрушения связующего (полиуретана).

Выбиваемость стержней из отливок зависит не только от применяемой стержневой смеси, но

и от конфигурации самих стержней. Сложная геометрическая форма полостей отливки препятствует выбивке стержней, изготовленных из смесей даже с очень хорошей выбиваемостью.

Проблема выбиваемости стержней характерна также для производства тонкостенных отливок из сплавов, обладающих малой прочностью. В этом случае применение обычных способов выбивки стержней может привести к повреждению или даже разрушению отливки.

## Обзор существующих решений проблемы

Из всех применяемых сейчас стержневых смесей, пожалуй, наилучшей выбиваемостью обладают смеси на жидком стекле.

Для решения этой проблемы разработано множество различных добавок, которые разделяются на два класса: органические и неорганические. Их принципиальное различие – поведение при нагреве. Органические добавки разлагаются в интервале температур 300–700°C с выделением газов и образованием пироуглерода [2]. Неорганические добавки, напротив, выдерживают воздействие высоких температур, их разупрочняющее действие обычно проявляется только после прогрева стержня до 800°C и выше. При этом, как правило, выделение газов не происходит.

К неорганическим добавкам относятся глина, феррохромовый шлак, доменный шлак, вермикулит, бентонит, асбест, фосфаты, гидрат окиси алюминия и др.

Одной из наиболее часто применяемых неорганических добавок является глина, которая может входить в состав смеси как отдельно, так и совместно с другими компонентами. Например, жидкостекольная смесь, содержащая прокаленный при 630–770°C каолин [3], или жидкостекольная смесь, содержащая глину, окись алюминия, окись кальция и окись магния [4]. К этой же группе жидкостекольных смесей можно отнести смесь с добавками бентонита и двухзамещенного фосфорно-кислого натрия [5], а также смесь с добавками бентонитовой глины и шлама электротехнического травления изделий из алюминиевых сплавов (шлам содержит около 60%  $Al_2O_3$ ) [6]. Глина и окиси активных металлов образуют сложную систему, в которой температура спекания превышает температуру прогрева стержня. Второй максимум прочности (800°C) сдвигается в область более высоких температур, что способствует улучшению выбиваемости. Смеси с подобными добавками описаны также в иностранных источниках [7,8].

Несомненное преимущество всех неорганических добавок – их малая газотворность и, как следствие, благоприятная в санитарно-гигиеническом отношении обстановка на стержневом участке. Основным недостатком является то, что их активное действие начинается только после прогрева стержня до высоких температур. Это ограничивает их применение в производстве литых из низкотемпературных сплавов. К тому же для значительного улучшения выбиваемости требуется довольно большое количество неорганических добавок. Это способствует уменьшению в составе смеси связующего – жидкого стекла, что влечёт за собой снижение рабочих прочностных характеристик стержня.

К органическим добавкам относятся масла, синтетические смолы, сахара, каменноугольный пек, древесный пек, латекс, полистирол, целлюлоза, крахмал, лигнин и др.

Известны жидкостекольные стержневые смеси, где в качестве разупрочняющей добавки применяются органические соединения, состоящие из нескольких гидроксильных групп (глюкоза, патока и др.). Например, смесь, содержащая добавку двойного соединения сахаров с хлористым натрием, причём сахаросодержащий материал является непищевым продуктом производства кристаллической глюкозы из кукурузы [9]. Ещё одним примером является смесь, со-

держащая побочный продукт переработки свеклы на сахар – дефекат [10]. При этом работа выбивки смесей при прогреве стержня до температур в интервале 600–900°C составляет 1,5 кг/м при содержании добавки в составе смеси в количестве 4%. Известна также жидкостекольная смесь с добавлением крахмальной патоки [11].

Основным недостатком применения сахаросодержащих веществ в качестве разупрочняющих добавок является их высокая себестоимость. К тому же эти добавки работают очень эффективно только при относительно высоком процентном содержании в составе смеси, что в свою очередь негативно влияет на рабочие прочностные свойства стержня (понижается прочность, повышается осыпаемость).

К ещё одной группе часто применяемых органических добавок относятся синтетические смолы. Например, жидкостекольная смесь с добавкой от 0,05 до 0,5% фенол-резольной смолы [12] или жидкостекольная смесь с добавкой от 0,2 до 0,8% диспергированной твердой фенолформальдегидной смолы новолачного типа [13].

Добавки синтетических смол разупрочняют жидкостекольные стержни даже при относительно невысоком процентном содержании в составе смеси. Один из основных недостатков применения синтетических смол – выделение в атмосферу цеха при деструкции смол вредных веществ (фенол, формальдегид и др.).

Общим недостатком всех органических добавок является выделение газов при деструкции, что ухудшает условия труда на стержневом участке.

Для фосфатных смесей проблема выбиваемости стоит не так остро, как для жидкостекольных, но, тем не менее, разработано немало добавок, способствующих их разупрочнению. К таким добавкам относятся, прежде всего, неорганические материалы: каолин, трифолин, окисл бора, окислы цинка и др.

Например, для фосфатных смесей, отверждаемых тепловой сушкой введение в состав смеси обогащённого каолина способствует связыванию свободной ортофосфорной кислоты алюмохромфосфатного связующего в прочные фосфаты алюминия, которые при прогреве стержня способствуют возникновению больших объёмных напряжений, приводящих к разрушению фосфатных плёнок и улучшению выбиваемости [14].

Ещё одной разупрочняющей добавкой для фосфатных смесей является трифолин – неорганический пылевидный материал тёмного цвета, содержащий окислы железа без каких-либо по-

сторонних примесей [15]. В результате химической реакции алюмохромфосфатного связующего с трифилином образуется неорганический полимер разветвленного строения, который при температурах 600–900°C способствует улучшению выбиваемости смеси.

Недостатки применения подобных добавок к фосфатным смесям те же, что и в случае жидкостеклянных смесей – необходимость прогрева стержня до высоких температур и относительно высокое процентное содержание в смеси (снижение прочности из-за снижения количества связующего).

В некоторых случаях проблема выбиваемости стержней характерна и для смесей на органическом связующем. Например, стержни, изготовленные Cold-box-amin процессом для алюминиевых отливок типа патрубков и впускных труб, недостаточно хорошо выбиваются.

Наиболее вероятной причиной затруднённой выбиваемости в данном случае является недостаточный прогрев стержня, из-за чего заключительная стадия термодеструкции связующего (полиуретана) проходит не полностью.

На предприятиях данную проблему пытаются решить следующими путями [2]:

- снижают содержание связующего материала в стержневой смеси до 1%;

- доводят массовое соотношение смолы и изопцианата до 60:40;

- применяют менее термостойкую смолу;
- проводят дополнительный прогрев стержней за счёт термообработки отливок с не выбитыми стержнями.

Первые два способа решения проблемы, безусловно, улучшат выбиваемость стержней. Однако при этом из-за недостатка связующего реакция образования полиуретана будет проходить не полно, в результате чего уменьшится начальная прочность стержня. Оставшиеся два способа имеют один общий недостаток – удорожание процесса изготовления стержней. Кроме того, термообработка с не выбитыми стержнями значительно ухудшит экологическую обстановку в литейном цехе [16].

Необходимо обратить внимание на то, что специальные добавки для улучшения выбиваемости стержней, изготовленных Cold-box-amin процессом, практически не применяются.

### Обсуждение результатов

Авторы статьи считают, что из всего разнообразия известных решений проблемы затруднённой выбиваемости литейных стержней можно выделить несколько основных направлений (см. таблицу).

Направления решения проблемы затруднённой выбиваемости литейных стержней  
Directions taken to solve the problem of the difficult knocking-out ability of casting cores

Направление решения проблемы	Преимущества	Недостатки	Области применения	Примеры применения
Улучшение выбиваемости за счёт уменьшения содержания связующего в стержневой смеси	Улучшение выбиваемости. Незначительные затраты	Малая эффективность при использовании в разных типах стержневых смесей. Возможность снижения других эксплуатационных характеристик стержня	Жидкостеклянные смеси	[17–19]
Введение в состав стержневой смеси добавок, разупрочняющих связующее при повышенных температурах	Улучшение выбиваемости	Отсутствие универсальности (необходимость разработки различных добавок для разного типа стержневых смесей)	Жидкостеклянные, фосфатные, песчаноглинистые и другие смеси	[20–25]
Применение физических методов обработки связующего и огнеупорной основы смеси	Улучшение выбиваемости	Сложность и высокая стоимость применяемого оборудования	Жидкостеклянные смеси	[26,27]
Введение в стержневую смесь порообразующих добавок	Значительное улучшение выбиваемости	Выделение газов и как следствие ухудшение экологической обстановки на стержневом участке. Загрязнение поверхностного слоя отливки	Жидкостеклянные смеси	[28,29]
Введение в стержневую смесь терморасширяющихся добавок	Значительное улучшение выбиваемости. Экологичность (отсутствие газовыделения)	Высокая стоимость. Невозможность применения прокатки смеси до высоких температур	Жидкостеклянные, фосфатные, песчаноглинистые и другие смеси	[30]

**Первым направлением является улучшение выбиваемости за счёт уменьшения количества связующего в составе смеси путём введения специальных добавок, повышающих физико-механические свойства смеси и тем самым компенсирующих недостаток связующего.** Например, известна жидкостеклянная смесь, в состав которой вводится жидкостеклянно-бокситовая суспензия, модифицированная рафинированным алкиларилсульфонатом [17]. Эти добавки позволяют повысить прочностные свойства смеси и снизить расход связующего – жидкого стекла. Аналогичным образом работает и комплексная добавка, содержащая этилсиликат, аминоспирт и водный раствор щёлочи [18]. При этом работа выбивки может быть снижена в 2–8 раз. Ещё одним примером данного направления решения проблемы выбиваемости может служить жидкостеклянная смесь с добавками 25–29%-ного водного раствора аминоспирта и 40%-ного раствора нефтяного битума в жидком хлорпарафине [19].

Основным недостатком данного подхода к решению проблемы можно считать то, что добавки ориентированы на применение в какой-то одной смеси и могут работать неэффективно применительно к другим типам стержневых смесей. К тому же, повысить одновременно весь комплекс эксплуатационных свойств стержня с помощью введения добавок довольно сложно.

**Второе направление улучшения выбиваемости стержней – введение в смесь добавок, разупрочняющих связующее при прогреве стержня до определённой температуры после заливки формы расплавом.** Механизмы разрушения связующего могут быть различными. Например, добавка в жидкостеклянную смесь отработанного магний-молибдено-ванадиевого катализатора, получаемого при производстве синтетического каучука, позволяет значительно понизить остаточную прочность стержня при его прогреве до 800°C. Разупрочнение стержня происходит за счёт появления многочисленных центров кристаллизации, в результате чего идёт интенсивный процесс образования многокомпонентных соединений типа  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O} - \text{MoO}_3 - \text{CaO} - \text{SiO}_2$  [20]. Добавка в состав стержневой смеси на основе жидкого стекла волокон распущенной макулатуры при прогреве стержня приводит к их термодеструкции. В результате выделяющиеся газы разрушают гель кремневой кислоты и стержень разупрочняется [21]. Совместное введение в жидкостеклянную смесь окислов железа и серы очень эффективно разупрочняет стержни после их прогрева до 800°C, работа выбивки

снижается в 10 раз [22]. Добавка высших жирных спиртов в самотвердеющие фосфатные смеси влияет в результате реакции полимеризации алюмохромфосфатного связующего на образование совместно с пылевидным кварцем мелкозернистой структуры, способствующей при прогреве стержня его разупрочнению [23].

К этому же направлению можно отнести добавки для жидкостеклянных смесей, приводящие к сдвигу второго максимума прочности (800°C) в область более высоких температур, тем самым способствующие улучшению выбиваемости. Например, добавка совместно алюминиевой пудры и технической серы [24] или пропиленкарбоната и каолина [25].

Второму направлению решения проблемы выбиваемости стержней присущ тот же недостаток, что и первому направлению – привязка вводимых в смесь добавок к конкретному типу смеси. Кроме того, некоторые добавки не позволяют при изготовлении стержней применять тепловую сушку [24].

**К третьему направлению решения проблемы выбиваемости литейных стержней можно отнести применение физических методов обработки связующих материалов и огнеупорной основы смеси (песка) в сочетании с использованием различных добавок.**

К физическим методам обработки относятся в первую очередь обработка электромагнитными полями, ультразвуком, вакуумирование и др.

Например, известен способ приготовления связующего, при котором жидкое стекло модифицируют 8%-ным водным раствором полиакриламида под воздействием электрического поля напряжённостью 400–800 В/м. Это позволяет снизить содержание связующего (жидкого стекла) в смеси и тем самым улучшить выбиваемость [26]. Известен также способ приготовления связующего, при котором жидкое стекло подвергается сначала обработке ультразвуком, а затем обработке импульсными электрическими разрядами. При этом в качестве добавки используется технический углерод. Улучшение выбиваемости в данном случае достигается за счёт более равномерного распределения в массе связующего частичек углерода, пропитанных жидким стеклом [27].

Основным недостатком данного направления решения проблемы выбиваемости стержней является сложность и высокая стоимость применяемого оборудования.

**Четвёртое направление решения проблемы выбиваемости литейных стержней – применение так называемых порообразующих добавок.** При этом образующиеся в стержне при

выгорании добавок пустоты могут быть заполнены газом под атмосферным или повышенным давлением. В первом случае улучшение выбиваемости происходит только за счёт ослабления поперечного сечения стержня, а во втором – разрушению стержневой смеси способствует оказываемое на неё давление со стороны газа, находящегося в порах. Классический пример порообразующих добавок – древесные опилки.

Весьма важной характеристикой является температура начала выгорания добавки. Необходимо, чтобы выгорание начиналось только после полного затвердевания отливки. Иначе преждевременное разупрочнение стержня может привести к искажению геометрической формы отливки, а повышенная газотворность смеси – к насыщению её поверхности газами.

В качестве примера можно рассмотреть жидкостекольную смесь с добавкой шламовых отходов химической очистки стальных изделий [28]. Это отходы нефтепродуктов, образующиеся при очистке стальных изделий от смазки при подготовке их к химической очистке. Они имеют следующий состав: масло консервационное марки К-17, солидол, уайт-спирит, дизельное топливо (соляр). При выгорании органической масляной добавки возникает газовое давление, которое разрушает плёнки жидкого стекла и улучшает выбиваемость смеси.

Добавка в жидкостекольную смесь раствора полистирола в толуоле улучшает выбиваемость смеси из-за разрушения геля ортокремневой кислоты за счёт выгорания полистирола [29].

К недостаткам применения порообразующих (выгорающих) добавок можно отнести возможность загрязнения поверхностного слоя отливки продуктами деструкции этих добавок, необходимость применения дополнительной вытяжной вентиляции для удаления образующихся газов из зоны заливки, сложность (а иногда и невозможность) применения из-за химического взаимодействия материала-порообразователя с компонентами стержневой смеси.

**Пятым направлением решения проблемы выбиваемости стержней является применение специальных добавок – твёрдых веществ, значительно расширяющихся при высоких температурах.** Механизм разупрочнения в данном случае основан на механическом разрушении стержня вследствие силового воздействия терморасширяющейся добавки. Ярким примером может служить добавка в жидкостекольную смесь вермикулярного графита – интеркалированного соединения графита [30]. При температурах заливки формы металлом происходит рез-

кое увеличение вермикулярного графита в объёме (в интервале температур 800–1300°C до 250 раз), при этом развиваются значительные усилия, которые нарушают сплошность силикатных плёнок связующего материала, что приводит к их разрушению (смесь разрыхляется). При этом интенсивное газовыделение отсутствует и газотворность смеси не увеличивается.

Недостатком применения терморасширяющихся веществ в качестве разупрочняющих добавок является недопустимость прокалики до высоких температур на этапе изготовления стержней, а также высокая стоимость добавок.

### Заключение

Авторы статьи считают, что последние два из перечисленных направлений решения проблемы выбиваемости литейных стержней являются наиболее предпочтительными. Они позволяют вести поиск так называемой универсальной добавки, которую можно было бы применять для большинства известных процессов изготовления стержней, различных по своей химической природе.

Основные требования к универсальным разупрочняющим добавкам можно сформулировать следующим образом:

- разупрочняющее действие добавок должно начинаться только после полного затвердевания отливки;
- добавки не должны ухудшать эксплуатационные свойства стержня;
- добавки не должны обладать высокой гигроскопичностью;
- добавки должны быть инертными к компонентам большинства применяемых на практике смесей и стержневых красок;
- добавки не должны снижать качество поверхностного слоя получаемых отливок;
- добавки не должны препятствовать возможности изготовления стержней с применением тепловой сушки;
- добавки должны быть экологичными;
- добавки должны иметь невысокую стоимость.

Из перечисленных требований последнее может быть обеспечено за счёт использования в качестве разупрочняющих добавок отходов литейного и других производств. В плане экологичности лучшие результаты, вероятно, будут у терморасширяющихся веществ. И, конечно, нужно стремиться улучшать не только выбиваемость, но и одновременно с этим другие эксплуатационные свойства стержней, для чего необходимо осуществлять поиск комплексных добавок.



# Список литературы

1. Сварика А.А. Формовочные материалы и смеси: справочник. К.: Техника, 1983. 144 с.
2. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: справочник / А.Н. Болдин, Н.И. Давыдов, В.С. Жуковский и др. М.: Машиностроение, 2006. 507 с.
3. А. с. 1369848 СССР, МКИ В 22 С 1/18. Смесь для изготовления литейных форм и стержней / И.А. Микей, С.А. Флейтман, О.И. Смолькова, Р.И. Мирюк. Опул. 30.01.1988. Бюл. №4.
4. А. с. 130633 СССР, МКИ В 22 С 1/18. Смеси для изготовления литейных стержней / А.М. Лясс, И.Б. Куманин, И.В. Валисовский. Опул. 01.07.1960. Бюл. №15.
5. А. с. 1560356 СССР, МКИ В 22 С 1/02, 1/18. Смесь для изготовления литейных форм и стержней / Л.Е. Рожкова, М.М. Антонов, Т.И. Печенникова, Л.Е. Желдаков, Ю.П. Скобелина, Г.Л. Гандыль. Опул. 30.04.1990. Бюл. №16.
6. А. с. 1659161 СССР, МКИ В 22 С 1/02, 1/18. Смесь для изготовления литейных форм и стержней / Ю.Д. Кузьмин, В.Л. Ежов, Е.Ф. Сац, Л.П. Баербаш, Е.Е. Цивадиц, П.И. Зильберберг. Опул. 30.06.1991. Бюл. №24.
7. Patent 3203057 US. Process for making cores and molds, articles made thereby and binder compositions therefor / Charles R. Hunt, Denmark Road, Hall Stewart. Publication date 31.08.1965.
8. Patent 4233076 US. Novel sand/silicate compositions for foundry molds/cores / Jean-Pierre Blanc, Francois Meiller. Publication date 11.11.1980.
9. А. с. 172964 СССР, МПК В 22d. Связующее для форм и стержней литейного производства / С.И. Прозорин, Л.Г. Воскова, И.В. Обходов, Т.И. Пешкина, И.Д. Симкин, А.И. Кузякин, В.А. Соколова. Опул. 07.07.1965. Бюл. №14.
10. А. с. 814548 СССР, МКИ В 22 С 1/18. Связующее для формовочных и стержневых смесей. И.С. Сычев. Опул. 23.03.1981. Бюл. №11.
11. Patent 2059538A1 DE. Bewertete Kern- und Formsandgemische / Gist William David. Veröffentlichung 09.06.1971.
12. Patent 209992B1 CS. Formovaci a jadrova chemicky tvrzena smes / Novacek Jaroslav, Turek Miroslav. Vydano 15.02.1982.
13. А. с. 1260100 СССР, МКИ В 22 С 1/02, 1/18. Самотвердеющая смесь для изготовления литейных форм и стержней / С.П. Дорошенко, А.П. Макаревич, А.С. Кочешков, И.П. Бороденко. Опул. 30.09.1986. Бюль. №36.
14. А. с. 1678495 СССР, МКИ В 22 С 1/10, 1/18. Смесь для изготовления литейных форм и стержней / В.Н. Иванов, А.И. Хащкевич, В.С. Олейник, В.А. Каширин. Опул. 23.09.1991. Бюл. №35.
15. А. с. 1662736 СССР, МКИ В 22 С 1/02, 1/18. Смесь для изготовления литейных форм и стержней / И.Е. Илларионов, Н.В. Багрова, А.Р. Свешников, С.М. Емельянович, Г.П. Королев. Опул. 15.07.1991. Бюл. №26.
16. Проблема выбиваемости стержней при производстве отливок из Al-сплавов cold box amin-процессом / И.О. Леушин, А.В. Титов, К.А. Маслов, А.Ю. Субботин // Литейное производство. 2020. №6. С. 10–13.
17. А. с. 1380830 СССР, МКИ В 21 С 1/00, В 22 С 1/20. Смесь для изготовления литейных форм и стержней / М.Г. Чернявская, И.В. Морозов, Е.К. Аверин. Опул. 15.03.1988. Бюл. №10.
18. А. с. 1770023 СССР, МКИ В 22 С 1/02, 1/18. Связующая композиция для формовочных и стержневых смесей / И.С. Сычев, В.А. Скаженник, В.Н. Киселев, В.И. Жморшук, А.А. Лимонова. Опул. 23.10.1992. Бюл. №39.
19. А. с. 1704899 СССР, МКИ В 22 С 1/02, 1/16. Смесь для изготовления литейных форм и стержней / И.С. Сычев, В.А. Скаженник, А.А. Лимонова, В.И. Жморшук. Опул. 15.01.1992. Бюл. №2.
20. А. с. 1181774 СССР, МКИ В 22 С 1/02. Разупрочняющая добавка для жидкостекольных смесей / И.С. Сычев, К.И. Вишняков, В.А. Скаженник, А.А. Лимонова, Г.Д. Конюх. Опул. 30.09.1985. Бюл. №36.
21. Пат. 2298449 Российской Федерация, МПК В22С 1/18. Легковываемая жидкостекольная смесь и способ ее приготовления / А.И. Евстигнеев, В.В. Петров, Э.А. Дмитриев, Е.А. Тютин; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет». № 2005118912/02; заявл. 17.06.2005; опул. 10.05.2007.
22. А. с. 1316741 СССР, МКИ В 22 С 1/00, 1/02. Смесь для изготовления литейных форм и стержней / В.Г. Алешинский, Б.П. Беляков, В.И. Каплун, В.Н. Киселев, В.А. Скаженник, Д.Е. Фурман. Опул. 15.06.1987. Бюл. №22.
23. А. с. 1558551 СССР, МКИ В 22 С 1/02, 1/18. Смесь для изготовления литейных форм и стержней / Л.В. Клемчук, В.Ф. Антипенко, Ю.Г. Акаревич, М.И. Тимохина, В.С. Конотопов, Н.И. Кузнецов, В.С. Шиббаева. Опул. 23.04.1990. Бюл. №15.
24. А. с. 1547936 СССР, МКИ В 22 С 1/02, 1/18. Смесь для изготовления литейных форм и стержней. В.Г. Алешинский, Б.П. Беляков, В.И. Каплун, В.Н. Киселев, В.А. Скаженник, Д.Е. Фурман / Опул. 07.03.1990. Бюл. №9.

25. А. с. 1811955 СССР, МКИ В 22 С 1/02, 1/16. Холоднотвердеющая смесь для изготовления литейных форм и стержней / А.И. Белый, А.М. Богуславский, С.В. Межевых. Опубл. 30.04.1993. Бюл. №16.
26. А. с. 1360876 СССР, МКИ В 22 С 5/04, 1/18. Способ приготовления связующего для литейных форм и стержней / Д.М. Кукуй, Ю.П. Ледеян, А.Е. Июде, В.Ф. Одиночко, С.И. Чигир, Б.Ф. Дудецкий. Опубл. 23.12.1987. Бюл. №47.
27. А. с. 1673247 СССР, МКИ В 22 С 1/18, 5/04. Способ приготовления модифицированного жидкостеклоного связующего для изготовления литейных форм и стержней / С.П. Мар-тюк, Ю.Е. Шамарин, А.Л. Садоумский, Т.К. Стеценко, А.М. Глазман. Опубл. 30.08.1991. Бюл. №32.
28. А. с. 1685586 СССР, МКИ В 22 С 1/02, 1/18. Смесь для изготовления литейных форм / Б.С. Линешский, В.С. Белогуб, Ю.В. Кудряшов, Л.Г. Ляликова, О.А. Ляхов, И.Э. Плечкин, В.С. Шарпаков, Ю.В. Мельник, Г.Б. Шамес. Опубл. 23.10.1991. Бюл. №39.
29. Пат. 2292980 Российская Федерация, МПК В22С 1/16. Смесь для изготовления литейных форм и стержней / В.И. Якимов, В.В. Петров, Э.А. Дмитриев, Б.Н. Марьин, В.П. Паниван, Ю.Л. Иванов, А.В. Якимов, В.В. Зелинский, Н.В. Сузько; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Комсомольское-на-Амуре авиационное производственное объединение им. Ю.А. Гагарина». № 2004137563/02; заявл. 22.12.2004; опубл. 10.02.2007.
30. А. с. 1637934 СССР, МКИ В 22 С 1/02, 1/18. Смесь для изготовления литейных форм и стержней / В.И. Ковалев, Д.И. Милочкина, В.Д. Кассов, А.А. Кузнецов, А.Г. Турчанин. Опубл. 30.03.1991. Бюл. №12.

### References

1. Svarika A.A. *Formovochnyye materialy i smesi: spravochnik* [Molding materials and mixtures: a reference book]. Kiev: Tekhnika, 1983, 144 p. (In Russ.)
2. Boldin A.N., Davydov N.I., Zhukovskiy S.S. et al. *Liteynye formovochnyye materialy. Formovochnyye, sterzhnevyye smesi i pokrytiya: spravochnik* [Foundry molding materials. Molding, core mixtures and coatings: a reference book]. Moscow: Mashinostroenie, 2006, 507 p. (In Russ.)
3. Mikey I.A., Fleytman S.A., Smolkova O.I., Miryuk R.I. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1369848, 1988.
4. Lyass A.M., Kumanin I.B., Valisovskiy I.V. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh sterzhney* [Casting core mixtures]. Author's certificate SU, no. 130633, 1960.
5. Rozhkova L.E., Antonov M.M., Pechennikova T.I., Zheldakova L.E., Skobelina Yu.P., Gandyl G.L. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for manufacturing casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1560356, 1990.
6. Kuzmin Yu.D., Ezhov V.L., Sats E.F., Baerbash L.P., Tsivadits E.E., Zilberberg P.I. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for manufacturing casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1659161, 1991.
7. Charles R. Hunt, Denmark Road, Hall Stewart. Process for making cores and molds, articles made thereby and binder compositions thereof. Patent US, no. 3203057, 1965.
8. Jean-Pierre Blanc, Francois Meiller. Novel sand/silicate compositions for foundry molds/cores. Patent US, no. 4233076, 1980.
9. Prozorin S.I., Voskova L.G., Obkhodov I.V., Peshkina T.I., Simkin I.D., Kuzyakin A.I., Sokolova V.A. *Svyazuyushcheye dlya form i sterzhney liteynogo proizvodstva* [Binder for foundry molds and cores]. Author's certificate SU, no. 172964, 1965.
10. Sychev I.S. *Svyazuyushcheye dlya formovochnykh i sterzhnevnykh smesey* [Binder for molding and core mixtures]. Author's certificate SU, no. 814548, 1981.
11. Gist William David. Improved core and molding sand mixtures. Patent DE, no. 2059538A1, 1971.
12. Novacek Jaroslav, Turek Miroslav. Sand and core chemically hardened mixture. Patent CS, no. 209992B1, 1982.
13. Doroshenko S.P., Makarevich A.P., Kocheshkov A.S., Borodenko I.P. *Samotverdeyushchaya smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Self-hardening mixture for making molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1260100, 1986.
14. Ivanov V.N., Khatskevich A.I., Oleynik V.S., Kashirin V.A. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1678495, 1991.
15. Illarionov I.E., Bagrova N.V., Sveshnikov A.R., Emelyanovich S.M., Korolev G.P. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1662736, 1991.
16. Leushin I.O., Titov A.V., Maslov K.A., Subbotin A.Yu. The problem of knocking-out ability of cores, when producing castings from aluminum alloys, using a cold-box-amin process. *Liteynoe proizvodstvo* [Foundry], 2020, no. 6, pp. 10–13. (In Russ.)
17. Chernyavskaya M.G., Morozov I.V., Averin E.K. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1380830, 1988.
18. Sychev I.S., Skazhennik V.A., Kiselev V.N., Zhmorshchuk V.I., Limonova A.A. *Svyazuyushchaya kompozitsiya dlya formovochnykh i sterzhnevnykh smesey* [A binder composition for molding and core mixtures]. Author's certificate SU, no. 1770023, 1992.
19. Sychev I.S., Skazhennik V.A., Limonova A.A., Zhmorshchuk V.I. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1704899, 1992.
20. Sychev I.S., Vishnyakov K.I., Skazhennik V.A., Limonova A.A., Konyukh G.D. *Razuprochnyayushchaya dobavka*



- dlya zhidkostekolnykh smesey* [A softening additive for liquid glass mixtures]. Author's certificate SU, no. 1181774, 1985.
21. Evstigneev A.I., Petrov V.V., Dmitriev E.A., Tyutina E.A. *Legkovybivaemaya zhidkostekolnaya smes i sposob ee prigotovleniya* [Easily removable liquid glass mixture and method for its preparation]. Patent RF, no. 2298449, 2007.
  22. Aleshinskiy V.G., Belyakov B.P., Kaplun V.I., Kiselev V.N., Skazhennik V.A., Furman D.E. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1316741, 1987.
  23. Klemchuk L.V., Antipenko V.F., Akartsev Yu.G., Timokhina M.I., Konotopov V.S., Kuznetsov N.I., Shibaeva V.S. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1558551, 1990.
  24. Aleshinskiy V.G., Belyakov B.P., Kaplun V.I., Kiselev V.N., Skazhennik V.A., Furman D.E. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1547936, 1990.
  25. Belyi A.I., Boguslavskiy A.M., Mezhevykh S.V. *Kholodnotverdeyushchaya smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Cold-setting mixture for manufacturing casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1811955, 1993.
  26. Kukuy D.M., Ledyan Yu.P., Iode A.E., Odinochko V.F., Chigir S.I., Dudetskiy B.F. *Sposob prigotovleniya svyazuyushchego dlya liteynykh form i sterzhney* [A method of preparing a binder for casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1360876, 1987.
  27. Martuyuk S.P., Shamarin Yu.E., Sadowskiy A.L., Stetsenko T.K., Glazman A.M. *Sposob prigotovleniya modifitsirovannogo zhidkostekolnogo svyazuyushchego dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [A method of preparing a modified liquid glass binder for manufacturing casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1673247, 1991.
  28. Linetskiy B.S., Belogub V.S., Kudryashov Yu.V., Lyalikova L.G., Lyakhov O.A., Plechkin I.E., Sharpakov V.S., Melnik Yu.V., Shames G.B. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form* [Mixture for manufacturing casting molds]. Author's certificate SU, no. 1685586, 1991.
  29. Yakimov V.I., Petrov V.V., Dmitriev E.A., Marin B.N., Panivan V.P., Ivanov Yu.L., Yakimov A.V., Zelinskiy V.V., Suzko N.V. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for manufacturing casting molds and cores]. Patent RF, no. 2292980, 2007.
  30. Kovalev V.I., Milochkina D.I., Kassov V.D., Kuznetsov A.A., Turchanin A.G. *Smes dlya izgotovleniya liteynykh form i sterzhney* [Mixture for casting molds and cores]. Author's certificate SU, no. 1637934, 1991.

Поступила 24.07.2020; принята к публикации 25.08.2020; опубликована 25.09.2020  
Submitted 24/07/2020; revised 25/08/2020; published 25/09/2020

**Леушин Игорь Олегович** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Металлургические технологии и оборудование», Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия. Email: igoleu@yandex.ru

**Кошелев Олег Сергеевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Машиностроительные технологические комплексы», Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия. Email: mto@nntu.ru

**Маслов Константин Александрович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Металлургические технологии и оборудование», Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия. Email: mto@nntu.ru

**Титов Андрей Вячеславович** – ст. преп. кафедры «Металлургические технологии и оборудование», Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия. Email: an-davt95@rambler.ru

**Igor O. Leushin** – DrSc (Eng.), Professor, Head of the Department of Metallurgical Technologies and Equipment, Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia. Email: igoleu@yandex.ru

**Oleg S. Koshelev** – DrSc (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering Technological Complexes, Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia. Email: mto@nntu.ru

**Konstantin A. Maslov** – PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Metallurgical Technologies and Equipment, Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia. Email: mto@nntu.ru

**Andrey V. Titov** – Senior Lecturer, Department of Metallurgical Technologies and Equipment, Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia. Email: andavt95@rambler.ru