



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-2-46-51>
УДК 621.74

Поступила 16.01.2025
Received 16.01.2025

РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕСЧАНО-СМОЛЯНЫХ СТЕРЖНЕЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ ПО НАГРЕВАЕМОЙ ОСНАСТКЕ

А. А. ПИВОВАРЧИК, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,
г. Гродно, Беларусь, ул. Ожешко, 22. E-mail: Pivovarchik_AA@grsu.by

В статье представлены результаты исследований по разработке современного состава разделительного покрытия, используемого для изготовления песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке с высокими технологическими свойствами. Установлено, что условная вязкость разрабатываемых составов смазок снижается при добавлении к полиметилсилоксановой жидкости олеиновой кислоты в количестве от 5 до 25 % с 10 до 8 с, а плотность смазок – с 908 до 882 кг/м³. При добавлении к основе 15 % олеиновой кислоты отмечается повышение седиментационной устойчивости смазки более чем в 30 раз. Показано, что наилучшими технологическими и потребительскими свойствами обладает разработанный состав смазки при следующем соотношении компонентов: основа (полиметилсилоксановая жидкость ПМС 300) – 15 %, добавка (олеиновая кислота) – 15 %, поверхностно-активное вещество (ПАВ) – 3,0 %, вода – остальное. Результаты исследований могут быть использованы инженерами-технологами при выборе состава смазки для изготовления стержней по нагреваемой оснастке.

Ключевые слова. Разделительное покрытие, песчано-смоляная смесь, стержни, стержневой ящик, прилипаемость, растительные масла и жиры, фуз.

Для цитирования. Пивоварчик, А. А. Разделительное покрытие для получения песчано-смоляных стержней, изготавливаемых по нагреваемой оснастке / А. А. Пивоварчик // Литье и металлургия. 2025. № 2. С. 46–51. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-2-46-51>.

RELEASE COATING FOR OBTAINING SAND-RESIN RODS MANUFACTURED USING HEATED TOOLS

A. A. PIVOVARCHYK, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Belarus, 22, Ozheshko str.
E-mail: Pivovarchik_AA@grsu.by

The article presents the results of research on the development of the lubricant composition for the production of sand-resin rods over a heated tooling with high technological and consumer properties. It has been established that the conditional viscosity of the developed lubricant compositions decreases when oleic acid is added to the polymethylsiloxane liquid in an amount of 5 to 25 % from 10 to 8 s, and the density of lubricants is reduced from 908 to 882 kg/m³. It has been established that when oleic acid is added to the base in an amount of 15 %, the sedimentation stability of the lubricant is increased by more than 30 times. It is shown that the developed lubricant composition has the best lubrication characteristics at the following component ratio: base (polymethylsiloxane liquid PMS 300) 15 %, additive (oleic acid) 15 %, surfactant 3,0 %, water – the rest. The results of the research can be used by the process engineers when choosing the composition of the lubricant for making rods by the heated tooling.

Keywords. Lubricant, sand-resin mixture, rods, core box, adhesion, organosilicone polymers, vegetable oils, fatty acid.

For citation. Pivovarchyk A. A. Release coating for obtaining sand-resin rods manufactured using heated tools. Foundry production and metallurgy, 2025, no. 2, pp. 46–51. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-2-46-51>.

Введение

На сегодняшний день предъявляются достаточно высокие требования к качеству стержней, изготавливаемых из песчано-смоляных смесей. Стержни из обычных песчаных и песчано-глинистых смесей, производимые автоматизированно и механизированно на встряхивающих, пескометных, пескодувных и пескострельных машинах и автоматах, а также вручную, требуют продолжительной сушки. Изготовление стержней из жидких самотвердеющих и холоднотвердеющих смесей целесообразно для единичного, мелкосерийного и реже серийного производства средних и крупных по массе стержней вследствие продолжительного цикла их затвердевания. Указанные недостатки отсутствуют при производстве стержней из песчано-смоляных смесей по нагреваемой оснастке. Основными преимуществами такого процесса

являются отсутствие сушки стержней в сушилках, высокая прочность получаемых стержней (120–500 МПа), малая их осыпаемость и возможность получения отливок с чистой поверхностью и высокой размерной точностью. Однако стержневые смеси на основе различных термореактивных связующих обладают способностью прилипать к рабочей поверхности стержневого ящика, что ухудшает качество поверхности стержней, их размерную точность, увеличивает брак, а в некоторых случаях при съеме может быть причиной полного разрушения стержней при их извлечении. Наибольшей прилипаемостью к поверхности стержневого ящика обладают стержневые смеси, при изготовлении которых в качестве связующего используют фенолформальдегидные смолы [1, 2]. Неотъемлемой частью технологии получения песчано-смоляных стержней является использование смазки, которая существенно снижает действие сил адгезии между стержнем и литейной оснасткой (соответственно между стержнем и стержневым ящиком) в процессе его изготовления и, как следствие, уменьшает прилипаемость смеси к технологической оснастке [1–4]. К таким смазкам предъявляют следующие технологические и потребительские требования: термостойкость – 300 °С; механизированный способ нанесения; отсутствие значительного дымовыделения при деструкции компонентов, входящих в состав смазки; возможность многократного съема стержней с оснастки после разового нанесения смазки, высокая седиментационная устойчивость [1, 3].

В настоящее время на ряде предприятий Республики Беларусь используют смазку для изготовления стержней по нагреваемой оснастке КЭ-1001 производства предприятия «Кремнийполимер» (Украина), а также смазку СВ-3 производства ОДО «Эвтектика» (Беларусь). Однако данные водоземulsionные смазки содержат в своем составе фунгициды, препятствующие разложению органической основы при длительном хранении. Такие вещества при испарении выбрасывают в атмосферу вредные для здоровья работника компоненты [2].

Цель данной статьи – разработка состава водоземulsionной смазки для изготовления песчано-смоляных стержней, его исследование и совершенствование.

Методика проведения экспериментов

На кафедре «Материаловедение и ресурсосберегающие технологии» (ГрГУ им. Я. Купалы) совместно с кафедрой «Металлургия литейных сплавов» (БНТУ) разработана новая водоземulsionная смазка для изготовления стержней из песчано-смоляных смесей по нагреваемой оснастке. Выбор компонентов осуществляли с учетом требований, предъявляемых к данным смазкам. В качестве основы разрабатываемой смазки выбран высокомолекулярный кремнийорганический полимер – полиметилсилоксановая жидкость (ПМС 300). Известно, что этот полимер обладает высокой разделяющей способностью, относительно высокой термостойкостью (до 305 °С), низкой газотворностью при температурах до 573 К (15 см³/г), а также является экологически безопасным продуктом [5–10]. При этом полиметилсилоксановая жидкость марки ПМС 300 имеет существенный недостаток – относительно низкую смазывающую способность [4–6]. По мнению авторов [7–9], с точки зрения повышения смазывающей способности разрабатываемой смазки целесообразно использовать в виде добавки экологически безопасные вещества растительного и животного происхождения, а именно растительные масла, животные жиры и их производные (жирные кислоты). Данные вещества хорошо смешиваются с полиметилсилоксановыми жидкостями, особенно после незначительного их подогрева, образуя густую однородную массу. В качестве добавки решено использовать олеиновую кислоту и растительное масло.

Кроме того, использовали неионогенное моющее средство как поверхностно-активное вещество (ПАВ), необходимое для получения водоземulsionной смазки с высокой седиментационной устойчивостью, и воду в качестве разбавителя.

Для приготовления составов смазки использовали двухлопастной лабораторный смеситель с частотой вращения лопаток 1250 мин⁻¹. Точное дозирование компонентов перед перемешиванием производили объемным методом с использованием цилиндра 1–100–1 (ГОСТ 1770-74) вместимостью 100 мл и ценой деления 1,0 мл. Подогрев компонентов осуществляли с помощью стационарной электрической плитки. Температура подогрева перед перемешиванием составляла 80 °С и контролировалась термометром А1 (ГОСТ 28498-90) с ценой деления 1 °С. Время перемешивания исходных компонентов 10 мин. Седиментационную устойчивость смазки оценивали по времени расслоения приготовленной водной эмульсии. Условную вязкость составов смазки определяли временем истечения жидкости определенного объема из вискозиметра марки ВЗ-4 (ГОСТ 9070-75). Плотность приготовленных составов смазки исследовали с использованием ареометра общего назначения марки АОН-1 700–1840

(ГОСТ 18481-81). Для определения показателя pH разработанных составов смазок применяли pH-метр (pH-150) с погрешностью измерений не более $\pm 0,1$ ед. pH. Состав разрабатываемых составов смазки приведен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Номер исследуемого состава смазок	Массовая доля основных компонентов в исследуемых составах смазки, %				
	полиметилсилоксановая жидкость марки ПМС 300	олеиновая кислота	растительное масло	ПАВ	вода
1	15	5	—	3,0	Остальное
2	15	10	—	3,0	То же
3	15	15	—	3,0	То же
4	15	20	—	3,0	То же
5	15	25	—	3,0	То же
6	15	—	5	3,0	То же
7	15	—	10	3,0	То же
8	15	—	15	3,0	То же
9	15	—	20	3,0	То же
10	15	—	25	3,0	То же
11 (КЭ-1001)	—	—	—	—	—
12 (СВ-3)	—	—	—	—	—

В табл. 2 приведены физико-химические и потребительские свойства разрабатываемых составов смазок для изготовления стержней по нагреваемой оснастке.

Т а б л и ц а 2

Номер исследуемого состава смазок	Свойства разрабатываемых составов смазок для изготовления стержней по нагреваемой оснастке			
	условная вязкость по ВЗ-4 при 20 °С, с	плотность, кг/м ³	pH	седиментационная устойчивость смазки, мес.
1	10	908	7,7	0,3
2	10	906	7,9	0,6
3	9	886	8,0	>9
4	8	884	8,1	>9
5	8	882	8,3	>9
6	10	915	7,1	0,1
7	11	918	7,1	0,3
8	11,5	924	7,2	0,6
9	11,5	929	7,2	0,6
10	12	938	7,2	0,6
11 (КЭ-1001)	9	905	7,2	>9
12 (СВ-3) [3]	10	910	7,0	>9

Перед нанесением смазки на поверхность стержневого ящика исследуемые вододисперсионные смазки разбавляли водой в соотношении от 1:20 до 1:50 в зависимости от сложности изготавливаемых стержней. Смазку наносили при помощи пистолета-распылителя с расстояния 0,4 м при давлении воздуха в сети 0,3 МПа. Время распыления смазки на поверхность стержневого ящика составляло 3 с. Периодичность нанесения смазки 1 раз в 3 цикла. Рабочую температуру поверхности стержневого ящика в процессе изготовления стержней измеряли с помощью тепловизора модели Sat S-280, погрешность измерения ± 2 °С. Шероховатость поверхности стержневого ящика 0,4 Ra. Время выдержки стержневой смеси до извлечения стержня из полости стержневого ящика контролировали с помощью реле времени, оно составило 45 с. При проведении исследований по определению технологических свойств разработанных смазок визуально контролировали беспрепятственное извлечение стержней из стержневого ящика, возможность налипания смазки на формообразующую поверхность, дальнейшее качество покраски стержней. В табл. 3 приведены результаты исследования технологических свойств разработанных составов смазок, используемых при изготовлении стержней по нагреваемой оснастке.

Таблица 3

Номер исследуемого состава смазок	Виды дефектов изготавливаемых стержней при использовании составов смазок			
	отсутствие на поверхности стержней сколов, трещин	налипание смазки на формообразующую поверхность стержневого ящика	налипание стержневой смеси на формообразующую поверхность стержневого ящика	качество покраски стержней
1	—	+	—	+
2	+/-	+	—	+
3	+	+	+	+
4	+	+/-	+	—
5	+	+/-	+	—
6	+/-	+	—	+
7	+/-	+	—	+
8	+	+	+	+/-
9	+	+/-	+	—
10	+	—	+	—
11 (КЭ-1001)	+/-	+	+/-	+/-
12 (СВ-3)	+/-	+	+	+/-

Примечание: + отсутствие контролируемого дефекта; — контролируемый дефект присутствует; +/- контролируемый дефект периодически возникает.

Результаты исследований и их обсуждение

Установлено, что рабочая температура поверхности стержневого ящика после извлечения стержней составляет 200–205 °С. Условная вязкость разработанных составов смазок 1–5 при добавлении к основе олеиновой кислоты в количестве от 5 до 25 % снижается с 10 до 8 с (см. табл. 2). При добавлении олеиновой кислоты к основе смазки наблюдается снижение значения плотности разрабатываемых составов смазок 1–5 с 908 до 882 кг/м³. Полученный результат можно объяснить тем, что изменение вязкости и плотности исследуемых составов связано с изменением сопротивления жидкости сдвигу вследствие проникновения молекул веществ, входящих в состав добавки, между молекулами ПМС 300, из-за чего происходит разрыхление основы смазки [7, 8]. Следует отметить, что с увеличением количества добавки в виде олеиновой кислоты к основе смазки наблюдается повышение уровня рН с 7,7 до 8,3. Установлено, что существенный рост седиментационной устойчивости смазки при использовании олеиновой кислоты в качестве добавки к основе наблюдается при содержании добавки свыше 15 % (состав 3) и составляет более 9 месяцев, что соответствует значению седиментационной устойчивости исследуемых аналогов (составы 11 и 12). Дальнейшее увеличение в составе смазки олеиновой кислоты (более 25 %) и ПАВ (до 5 %) не приводит к росту седиментационной устойчивости приготавливаемой эмульсии.

В свою очередь, условная вязкость разработанных составов смазок 6–10 при добавлении к основе растительного масла в количестве от 5 до 25 % возрастает с 10 до 12 с. При этом значение плотности увеличивается от 915 до 938 кг/м³, а значение рН лежит в диапазоне от 7,1 до 7,2. Можно предположить, что добавка в виде растительного масла не способствует значительному разрыхлению основы смазки. Седиментационная устойчивость составов смазок 6–10 не более 0,6 месяца и в 15 раз уступает по данному показателю исследуемым аналогам (составы 11 и 12).

При использовании составов 1, 2 на поверхности стержней после их удаления из стержневого ящика наблюдаются сколы и трещины, вызванные значительным усилием извлечения, а также налипание стержневой смеси к формообразующей поверхности стержневого ящика (табл. 3). По-видимому, это происходит вследствие низкой смазывающей способности исследуемых составов из-за небольшого количества добавки (5 и 10 % олеиновой кислоты соответственно), сравнительно невысокой адгезионной способности к поверхности стержневого ящика и, как следствие, низкой эрозионной устойчивости смазочного слоя при вдувании стержневой смеси в формообразующую полость стержневого ящика [10–13]. Отсутствие контролируемых видов дефектов, возникающих при изготовлении стержней из песчано-смоляных смесей по нагреваемой оснастке, наблюдается при использовании в качестве смазки разработанного состава 3 (15 % ПМС 300, 15 % олеиновая кислота, 3,0 % ПАВ, вода – остальное). Полученный результат можно объяснить тем, что олеиновая кислота, входящая в состав смазки, относится к группе жирных кислот, обладающих высокими смазывающими свойствами [6–9]. Увеличение количества добавки в виде олеиновой кислоты к основе смазки (более 15 %) способствует возникновению дефекта стержней по качеству их покраски, т.е. некоторая часть поверхности стержня местами не окрашивается.

Вероятно, причиной служит накопление смазки на формообразующей поверхности стержневого ящика ввиду высокой адгезионной и эрозионной способности смазки, обусловленной повышенным содержанием олеиновой кислоты.

При использовании в качестве добавки растительного масла в составах смазок 6 и 7 на поверхности стержней после их удаления из стержневого ящика наблюдаются сколы и трещины, а также налипание стержневой смеси на формообразующей поверхности стержневого ящика (табл. 3). Очевидно, что полученный результат объясняется невысокой смазывающей способностью смазки и низкой адгезионной стойкостью смазочного слоя, образующегося на поверхности стержневого ящика. Лучшие технологические свойства при использовании в качестве добавки растительного масла наблюдаются при применении состава 8, при этом отмечается наличие дефекта, выраженного качеством покраски. Следует отметить, что при содержании 12,0–13,5 % растительного масла в составе смазки 8 данный вид брака не наблюдается. Исследования составов смазок 9, 10 показали, что при изготовлении стержней наблюдаются дефекты, связанные с налипанием смазки на формообразующую поверхность стержневого ящика и качеством покраски стержней. Полученный результат можно объяснить наличием в растительном масле предельных и непредельных жирных кислот (стеариновая и олеиновая) и их производных, обладающих высокой смазывающей и эрозионной способностью, что приводит к накоплению смазки на поверхности стержневого ящика и стержня [10–14].

При проведении исследований с использованием составов аналогов 11, 12 отмечаются наличие на поверхности стержней сколов, трещин, налипание стержневой смеси на формообразующую поверхность стержневого ящика, а также снижение качества покраски изготавливаемых стержней из песчано-смоляных смесей по нагреваемой оснастке.

Выводы

В ходе проведения исследований установлено, что при изготовлении стержней из песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке в качестве водозмульсионной смазки целесообразно использовать состав на основе полиметилсилоксановой жидкости марки ПМС 300 с добавкой олеиновой кислоты. При этом оптимальное количество олеиновой кислоты в составе смазки 15 %. Разработанный состав смазки обладает высокими технологическими свойствами и не уступает по потребительским свойствам исследуемым аналогам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кукуй, Д. М. Теория и технология литейного производства / Д. М. Кукуй, В. А. Скворцов, В. Н. Эктова. – Минск: Дизайн ПРО, 2010. – 416 с.
2. Михальцов, А. М. Водозмульсионные смазки для пресс-форм литья под давлением / А. М. Михальцов, В. А. Розум, А. А. Пивоварчик // Литье и металлургия. – 2005. – № 4. – С. 104–105.
3. Михальцов, А. М. Водозмульсионные разделительные покрытия для изготовления стержней по нагреваемой оснастке / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик, А. Г. Курьян // Литье и металлургия. – 2007. – № 2. – С. 178–179.
4. Михальцов, А. М. Исследование экологической безопасности смазок для литья под давлением алюминиевых сплавов / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик, А. С. Панасюгин // Литье и металлургия. – 2008. – № 1. – С. 133–135.
5. Михальцов, А. М. Газотворность разделительных покрытий для пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик, А. А. Субота // Литье и металлургия. – 2010. – № 4. – С. 85–89.
6. Михальцов, А. М. Разработка водозмульсионных смазок для пресс-форм литья под давлением / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик, В. А. Розум // Литейное производство. – 2006. – № 3. – С. 15–16.
7. Михальцов, А. М. Разработка комплексного компонента на основе кремнийорганических полимеров для пресс-форм литья под давлением / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик, Л. М. Слепнева // Литье и металлургия. – 2008. – № 1. – С. 129–133.
8. Пивоварчик, А. А. Разработка разделительных покрытий на основе кремнийорганических материалов для пресс-форм литья под давлением / А. А. Пивоварчик, Л. М. Слепнева, В. А. Розум // Литейщик России. – 2007. – № 1. – С. 36–40.
9. Михальцов, А. М. Материалы разделительных покрытий пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик, С. К. Дятловский // Литейщик России. – 2012. – № 7. – С. 38–40.
10. Пивоварчик, А. А. Формирование слоя разделительного покрытия на поверхности пресс-формы при литье под давлением / А. А. Пивоварчик, А. М. Михальцов // Литье и металлургия. – 2015. – № 1. – С. 62–65.
11. Михальцов, А. М. Исследование адгезионной способности смазок на основе кремнийорганических полимеров для литья под давлением алюминиевых сплавов / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик // Литье и металлургия. – 2007. – № 1. – С. 131–133.
12. Михальцов, А. М. Эрозионная стойкость смазок при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов методом литья под давлением / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик // Литье и металлургия. – 2008. – № 2. – С. 47–51.
13. Михальцов, А. М. Исследование адгезионной способности смазок на основе кремнийорганических полимеров для литья под давлением алюминиевых сплавов / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик // Литейщик России. – 2007. – № 7. – С. 11–13.
14. Михальцов, А. М. Накопление разделительных покрытий на рабочей поверхности технологической оснастки при литье под давлением алюминиевых сплавов / А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик // Металлургия: Респ. межвед. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2007. – № 31. – С. 179–189.

REFERENCES

1. Kukuj D.M., Skvorcov V.A., Ectowa V.N. *Teorija i tehnologija litejnogo proizvodstva* [Theory and technology of foundry]. Minsk, PRO design Publ., 2010, 416 p.
2. Mihaltzov A.M., Rozum V.A., Pivovarchyk A.A. Vodojemul'sionnye smazki dlja press-form lit'ja pod davleniem [Water-emulsion lubricants for press-modes of casting under pressure]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2005, no. 4, pp. 104–105.
3. Mihaltzov A.M., Pivovarchyk A.A., Kuryan A.G. Vodojemul'sionnye razdelitel'nye pokrytija dlja izgotovlenija sterzhnej po nagrevaemoj osnastke [Water-emulsion separating coverings for production of bars by heated mounting]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2007, no. 2, pp. 178–179.
4. Mihaltzov A.M., Pivovarchyk A.A., Panasyugin A.S. Issledovanie jekologicheskoy bezopasnosti smazok dlja lit'ja pod davleniem aljuminievyh splavov [Investigation of ecological safety of lubrications for casting under pressure of aluminium alloys]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 1, pp. 133–135.
5. Mihaltzov A.M., Pivovarchyk A.A., Subota A.A. Gazotvornost' razdelitel'nyh pokrytij dlja press-form lit'ja aljuminievyh splavov pod davleniem [Gas-creation of separating coverings for moulds for die casting of aluminium alloys]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2010, no. 4, pp. 85–89.
6. Mihaltzov A.M., Pivovarchyk A.A., Rozum V.A. Razrabotka vodojemul'sionnyh smazok dlja press-form lit'ja pod davleniem [Development of water-based lubricants for injection molds]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2006, no. 3, pp. 15–16.
7. Mihaltzov A.M., Pivovarchyk A.A., Slepneva L.M. Razrabotka kompleksnogo komponenta na osnove kremnijorganicheskikh polimerov dlja press-form lit'ja pod davleniem [Development of complex oiling component on the basis of silicone polymers for molds for casting under pressure]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 1, pp. 129–133.
8. Pivovarchyk A.A., Slepneva L.M., Rozum V.A. Razrabotka razdelitel'nyh pokrytij na osnove kremnijorganicheskikh materialov dlja press-form lit'ja pod davleniem [Development of separation coatings on the basis of organosilicon materials for die-casting molds]. *Litejshhik Rossii = Foundry production*, 2007, no. 1, pp. 36–40.
9. Mihaltzov A.M., Pivovarchyk A.A., Dyatlovsky S.K. Materialy razdelitel'nyh pokrytij press-form lit'ja aljuminievyh splavov pod davleniem [Materials of separation coatings of die-casting molds of aluminum alloys under pressure]. *Litejshhik Rossii = Foundry production*, 2012, no. 7, pp. 33–40.
10. Pivovarchyk A.A., Mihaltzov A.M. Formirovanie sloja razdelitel'nogo pokrytija na poverhnosti press-formy pri lit'e pod davleniem [Forming a parting layer of coating on the surface of the mould during die-casting]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 1, pp. 62–65.
11. Mikhaltsov A.M., Pivovarchyk A.A. Issledovanie adgezionnoj sposobnosti smazok na osnove kremnijorganicheskikh polimerov dlja lit'ja pod davleniem aljuminievyh splavov [Investigation of adhesion capability of lubricants on the basis of organosilicon polymers for casting of aluminium alloys under the pressure]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2007, no. 1, pp. 131–133.
12. Mihaltzov A.M., Pivovarchyk A.A. Jerozionnaja stojkost' smazok pri izgotovlenii otlivok iz aljuminievyh splavov metodom lit'ja pod davleniem [Erosion resistance of lubrications at production of castings of aluminium alloys by means of casting under pressure]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 2, pp. 47–50.
13. Mihaltzov A.M., Pivovarchyk A.A. Issledovanie adgezionnoj sposobnosti smazok na osnove kremnijorganicheskikh polimerov dlja lit'ja pod davleniem aljuminievyh splavov [Investigation of the adhesiveness of lubricants based on organosilicon polymers for die casting of aluminum alloys]. *Litejshhik Rossii = Foundry production*, 2007, no. 7, pp. 11–13.
14. Mihaltzov A.M., Pivovarchyk A.A. Nakoplenie razdelitel'nyh pokrytij na rabochej poverhnosti tehnologicheskoy osnastki pri lit'e pod davleniem aljuminievyh splavov [Accumulation of separation coatings on the working surface of the tooling when casting aluminum alloys under pressure]. *Metallurgiya: Respublicanskij mezhdомstvennyj sbornik nauchnyh trudov = Metallurgy: Republican interdepartmental collection of scientific works*, Minsk, BNTU Publ., 2007, vyp. 31, pp. 179–189.