



УДК 621.7.079

Поступила 23.01.2018

СМАЗКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕСЧАНО–СМОЛЯНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПО НАГРЕВАЕМОЙ ОСНАСТКЕ

Е. В. ПИВОВАРЧИК, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь, ул. Ожешко, 22. E-mail: pivovarchik_ev@grsu.by,
А. М. МИХАЛЬЦОВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: michaltsov@tut.by

Приведены результаты исследований по разработке состава смазки для изготовления песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке с высокими технологическими и потребительскими 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 также отмечается снижение плотности смазок с 908 до 882 кг/м³. Установлено, что при добавлении олеиновой кислоты к основе в количестве 15% 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. Смазка, песчано-смоляная смесь, стержни, стержневой ящик, прилипаемость, кремнийорганические полимеры, растительные масла, жирные кислоты.

LUBRICANTS FOR THE MANUFACTURE OF SAND-SMOOTHED RODS BY HYDRAULIC TOOLING

Е. V. PIVOVARCHYK, Yanka Kupala State University of Grodno, Belarus, 22, Ozheshko str.
E-mail: pivovarchik_ev@grsu.by,
А. М. MIKHALTSOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.
E-mail: michaltsov@tut.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.

Введение

На сегодняшний день предъявляются достаточно высокие требования к качеству стержней, изготавливаемых из песчано-смоляных смесей. Стержни из обычных песчаных и песчано-глинистых смесей, изготавливаемые автоматизированно и механизированно на встряхивающих, пескометных, пескодувных и пескострельных машинах и автоматах, а также вручную, требуют продолжительной сушки. Изготовление стержней из жидких самотвердеющих смесей (ЖСС) и холоднотвердеющих смесей (ХТС) наиболее целесообразно для единичного, мелкосерийного и реже серийного производства средних и крупных по массе стержней вследствие продолжительного цикла их затвердевания. Указанные недостатки отсут-

ствуют при изготовлении стержней из песчано-смоляных смесей по нагреваемой оснастке. Основными преимуществами процесса изготовления стержней по нагреваемой оснастке являются отсутствие сушки стержней в сушилах; 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 высокая прилипаемость 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 фенолоформальдегидные смолы [1, 2]. С целью устранения прилипания стержневой смеси к поверхности стержневого ящика 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 смазкам, используемым для изготовления стержней из песчано-смоляных смесей по нагреваемой оснастке, согласно литературным данным, предъявляются следующие технологические и потребительские требования: термостойкость смазки должна составлять 300 °С; смазка должна наноситься механизированно; при деструкции компонентов смазки не должно наблюдаться значительного дымовыделения, возникающего вследствие деструкции компонентов, входящих в состав смазки; смазка должна обеспечивать многократный съем стержней с оснастки после разового нанесения; высокая седиментационная устойчивость [1, 3].

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

Настоящая работа направлена на создание импортозамещающей продукции вследствие разработки отечественного состава водоэмульсионной смазки, используемой при изготовлении песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке, применение которого позволит уменьшить брак изготавливаемых стержней.

Методика проведения экспериментов. На кафедре «Материаловедения и ресурсосберегающих технологий» (ГрГУ им. Я. Купалы) совместно с кафедрой «Металлургия литейных сплавов» (БНТУ) разработана новая водоэмульсионная смазка для изготовления стержней из песчано-смоляных смесей по нагреваемой оснастке. Выбор компонентов для разработки состава смазки для изготовления стержней из песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке осуществляли согласно требованиям, предъявляемым к данным смазкам. В качестве основы разрабатываемой смазки был использован 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]. Данное вещество использовали в качестве основы при разработке водоэмульсионного состава смазки для изготовления песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке. 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), которые хорошо смешиваются с полиметилсилоксановыми жидкостями, особенно после незначительного их подогрева, образуя густую однородную массу. Было принято решение использовать в качестве добавки олеиновую кислоту и растительное масло.

В качестве поверхностно-активного вещества (ПАВ), необходимого для получения водоэмульсионной смазки с высокой седиментационной устойчивостью, использовали неионогенное моющее средство, в качестве разбавителя при изготовлении смазки – воду.

Для приготовления составов смазки использовали двухлопастной лабораторный смеситель с частотой вращения лопаток 1250 мин⁻¹. Точное дозирование компонентов смазки перед перемешиванием про-

водили объемным методом с помощью цилиндра 1-100-1 ГОСТ 1770-74 вместимостью 100 мл и ценой деления 1,0 мл. Подогрев компонентов смазки проводили с использованием стационарной электрической плитки. Температура подогрева компонентов смазки 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 ареометром общего назначения марки АОН-1 700-1840 ГОСТ 18481-81. Для определения показателя рН разработанных составов смазок применяли рН метр (рН 150) с погрешностью измерений не более ±0,1 ед. рН. Состав разрабатываемых смазок приведен в табл. 1, а физико-химические и потребительские свойства разрабатываемых составов смазок для изготовления стержней по нагреваемой оснастке – в табл. 2.

Таблица 1. Состав разрабатываемых смазок

| Номер исследуемых составов 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 | » |
| 4 | 15 | 20 | – | 3,0 | » |
| 5 | 15 | 25 | – | 3,0 | » |
| 6 | 15 | – | 5 | 3,0 | » |
| 7 | 15 | – | 10 | 3,0 | » |
| 8 | 15 | – | 15 | 3,0 | » |
| 9 | 15 | – | 20 | 3,0 | » |
| 10 | 15 | – | 25 | 3,0 | » |
| 11 (КЭ-1001) | – | – | – | – | – |
| 12 (СВ-3) | – | – | – | – | – |

Перед нанесением смазки на поверхность стержневого ящика исследуемые водоземulsionные 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 тепловизора составляла ± 2 °С. Шероховатость поверхности стержневого ящика – 0,4 R_a. Время выдержки стержневой смеси до извлечения стержня из полости стержневого ящика контролировалось с помощью реле времени и составляло 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 стержневого ящика, дальнейшее качество покраски стержней. В табл. 3 приведены результаты исследования технологических свойств разработанных составов смазок, используемых при изготовлении стержней по нагреваемой оснастке.

Результаты исследований и их обсуждение. Установлено, что рабочая температура поверхности стержневого ящика после извлечения стержней составляет 200–205 °С. Из табл. 2 видно, что 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. Показано (табл. 2), что при добавлении олеиновой кислоты к основе смазки наблюдается снижение значения плотности разрабатываемых составов смазок 1–5 с 908 до 882 кг/м³. Это 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, в результате 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 ед. рН. Установлено, что существенный рост седиментационной устойчивости смазки при использовании олеиновой кислоты в качестве добавки к основе смазки

наблюдается при содержании добавки свыше 15% (состав 3) и составляет более 9 мес., что соответствует значениям седиментационной устойчивости исследуемых аналогов (составы 11 и 12) Кроме того, дальнейшее увеличение количества 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 значения плотности увеличиваются от 915 до 938 кг/м³, а значение pH лежит в диапазоне 7,1–7,2. Можно предположить, что добавка в виде растительного масла не способствует значительному разрыхлению основы смазки. Седиментационная устойчивость составов смазок 6–10 составляет не более 0,6 мес. и в 15 раз уступает по данному показателю исследуемым аналогам (составы 11 и 12).

Таблица 2. Физико-химические и потребительские свойства разрабатываемых составов смазок для изготовления стержней по нагреваемой оснастке

| Номер исследуемых составов 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 |

Из табл. 3 следует, что при использовании составов смазок 1 и 2 на поверхности стержней после их удаления из стержневого ящика наблюдаются сколы и трещины, вызванные значительным усилием извлечения, а также налипание стержневой смеси на формообразующую поверхность стержневого ящика. По-видимому, это происходит вследствие низкой смазывающей способности исследуемых составов из-за незначительного количества добавки (5 и 10% олеиновой кислоты соответственно) и их сравнительно невысокой адгезионной способности к поверхности стержневого ящика и, как следствие, низкой эрози-

Таблица 3. Технологические свойства разработанных составов смазок, используемых при изготовлении стержней по нагреваемой оснастке

| Номер исследуемых составов 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. Знаком + отмечено отсутствие контролируемого дефекта; – контролируемый дефект присутствует; +/- – контролируемый дефект периодически возникает.

онной 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, которые в свою очередь обладают высокими смазывающими свойствами [6–9]. Установлено, что увеличение количества добавки в виде олеиновой кислоты к основе смазки (более 15%) способствует возникновению дефекта стержней по качеству их покраски, а именно некоторая часть поверхности стержня местами не окрашивается. По-видимому, это происходит вследствие накопления смазки на формообразующей поверхности стержневого ящика ввиду высокой адгезионной и эрозионной способности смазки, обусловленной повышенным содержанием олеиновой кислоты и, как следствие, попадания значительного количества смазки на поверхность стержня.

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 формообразующую поверхность стержневого ящика (табл. 3). Очевидно, 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 растительного масла в составе смазки 8 в количестве 12–13,5% данный вид брака не наблюдается. Исследования составов смазок 9 и 10 показали, что при изготовлении стержней наблюдаются дефекты, выраженные налипанием смазки на формообразующую поверхность стержневого ящика, а также дефекты по качеству 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 и, тем самым, способствующих накоплению смазки на поверхности стержневого ящика и стержня [10–14].

При проведении исследований с использованием составов аналогов 11 и 12 отмечается наличие на поверхности стержней сколов, трещин, происходит 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 водоэмульсионной смазки целесообразно использовать состав на основе полиметилсилоксановой жидкости марки ПМС 300 с добавкой олеиновой кислоты. При этом оптимальное количество олеиновой кислоты в составе смазки должно составлять 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., Розум В. А., Пивоварчик А. А. Водоэмульсионные смазки для пресс-форм литья под давлением // Литье и металлургия. 2005. № 4. С. 104–105.
3. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А., Курьян А. Г. Водоэмульсионные разделительные покрытия для изготовления стержней по нагреваемой оснастке // Литье и металлургия. 2007. № 2. С. 178–179.
4. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А., Панасюгин А. С. Исследование экологической безопасности смазок для литья под давлением алюминиевых сплавов // Литье и металлургия. 2008. № 1. С. 133–135.
5. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А., Суббота А. А. Газотворность разделительных покрытий для пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением // Литье и металлургия. 2010. № 4. С. 85–89.
6. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А., Розум В. А. Разработка водоэмульсионных смазок для пресс-форм литья под давлением // Литейное производство. 2006. № 3. С. 15–16.
7. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А., Слепнева Л. М. Разработка комплексного компонента на основе кремнийорганических полимеров для пресс-форм литья под давлением // Литье и металлургия. 2008. № 1. С. 129–133.
8. Пивоварчик А. А., Слепнева Л. М., Розум В. А. Разработка разделительных покрытий на основе кремнийорганических материалов для пресс-форм литья под давлением // Литейщик России. 2007. № 1. С. 36–40.

9. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А., Дятловский С. К. Материалы разделительных покрытий пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением // *Литейщик России*. 2012. № 7. С. 38–40.
10. Пивоварчик А. А., Михальцов А. М. Формирование слоя разделительного покрытия на поверхности пресс-формы при литье под давлением // *Литье и металлургия*. 2015. № 1. С. 62–65.
11. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А. Исследование адгезионной способности смазок на основе кремнийорганических полимеров для литья под давлением алюминиевых сплавов // *Литье и металлургия*. 2007. № 1. С. 131–134.
12. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А. Эрозионная стойкость смазок при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов методом литья под давлением // *Литье и металлургия*. 2008. № 2. С. 47–51.
13. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А. Исследование адгезионной способности смазок на основе кремнийорганических полимеров для литья под давлением алюминиевых сплавов // *Литейщик России*. 2007. № 7. С. 11–13.
14. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А. Накопление разделительных покрытий на рабочей поверхности технологической оснастки при литье под давлением алюминиевых сплавов // *Металлургия: Республ. межвед. сб. науч. тр. Минск: БНТУ, 2007. № 31. С. 179–189.*

REFERENCES

1. Kujuk D. M., Skvorcov V. A., Ectowa V. N. *Teorija i tehnologija litejnogo proizvodstva* [Theory and technology of foundry]. Minsk, Dizain PRO Publ., 2010, 416 p.
2. Mihaltsov A. M., Rozum V. A., Pivovarchyk A. A. Vodojemul'sionnye smazki dlja press-form lit'ja pod davleniem [Water-based lubricants for injection molds]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2005, no. 4, pp. 104–105.
3. Mihaltsov A. M., Pivovarchyk A. A., Kuryan A. G. Vodojemul'sionnye razdelitel'nye pokrytija dlja izgotovlenija sterzhnej po nagrevaemoj osnastke [Water-emulsion separation coatings for the production of rods by a heated tooling]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2007, no. 2, pp. 178–179.
4. Mihaltsov A. M., Pivovarchyk A. A., Panasyugin A. S. Issledovanie jekologicheskoj bezopasnosti smazok dlja lit'ja pod davleniem aljuminievych splavov [Research of ecological safety of lubricants for injection molding of aluminum alloys]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 1, pp. 133–135.
5. Mihaltsov A. M., Pivovarchyk A. A., Subbota A. A. Gazotvornost' razdelitel'nyh pokrytij dlja press-form lit'ja aljuminievych splavov pod davleniem [Gasification of separation coatings for die-casting molds of aluminum alloys under pressure]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2010, no. 4, pp. 85–89.
6. Mihaltsov 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. Mihaltsov A. M., Pivovarchyk A. A., Slepneva L. M. Razrabotka kompleksnogo komponenta na osnove kremnijorganicheskih polimerov dlja press-form lit'ja pod davleniem [Development of a complex component based on organosilicon polymers for injection molds]. *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 kremnijorganicheskih materialov dlja press-form lit'ja pod davleniem [Development of separation coatings on the basis of organosilicon materials for die-casting molds]. *Litejschik Rossii = Russian Foundryman*, 2007, no. 1, pp. 36–40.
9. Mihaltsov A. M., Pivovarchyk A. A., Dyatlovsky S. K. Materialy razdelitel'nyh pokrytij press-form lit'ja aljuminievych splavov pod davleniem [Materials of separation coatings of die-casting molds of aluminum alloys under pressure]. *Litejschik Rossii = Russian Foundryman*, 2012, no. 7, pp. 33–40.
10. Pivovarchyk A. A., Mihaltsov A. M. Formirovanie sloja razdelitel'nogo pokrytija na poverhnosti press-formy pri lit'e pod davleniem [Forming a layer of the separation coating on the surface of the mold during injection molding]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 1, pp. 62–65.
11. Mihaltsov A. M., Pivovarchyk A. A. Issledovanie adgezionnoj sposobnosti smazok na osnove kremnijorganicheskih polimerov dlja lit'ja pod davleniem aljuminievych splavov [Study adhesiveness greases based on silicone polymers for injection molding of aluminum alloys]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2007, no. 1, pp. 131–134.
12. Mihaltsov A. M., Pivovarchyk A. A. Jerozionnaja stojkost' smazok pri izgotovlenii otlivok iz aljuminievych splavov metodom lit'ja pod davleniem [Erosion resistance of lubricants in the manufacture of castings from aluminum alloys by injection molding]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 2, pp. 47–51.
13. Mihaltsov A. M., Pivovarchyk A. A. Issledovanie adgezionnoj sposobnosti smazok na osnove kremnijorganicheskih polimerov dlja lit'ja pod davleniem aljuminievych splavov [Investigation of the adhesiveness of lubricants based on organosilicon polymers for die casting of aluminum alloys]. *Litejschik Rossii = Russian Foundryman*, 2007, no. 7, pp. 11–13.
14. Mihaltsov A. M., Pivovarchyk A. A. Nakoplenie razdelitel'nyh pokrytij na rabochej poverhnosti tehnologicheskoj osnastki pri lit'e pod davleniem aljuminievych splavov [Accumulation of separation coatings on the working surface of the tooling when casting aluminum alloys under pressure]. *Metallurgija: Respublicanskij mezhvedomstvennyi sbornik nauchnyh trudov = Metallurgy: Republican interdepartmental collection of scientific works*, Minsk, BNTU Publ., 2007, vyp. 31, pp. 179–189.