ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74.043:669.746.012

Поступила 16.01.2018

СМЫВАЕМОСТЬ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

А. А. ПИВОВАРЧИК, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь, ул. Ожешко, 22. E-mail: piwchik21@tut.by,
А. М. МИХАЛЬЦОВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: michaltsov@tut.by

Представлены результаты исследования влияния технологических режимов литья под давлением алюминиевых сплавов, таких, как скорость прессования, времени выдержки отливки в пресс-форме, способа нанесения разделительного покрытия на поверхность пресс-формы и состава смазки на эрозионную стойкость разделительных покрытий. Установлено, что из исследуемых факторов, оказывающих влияние на толщину смазочного слоя, формирующегося на рабочей поверхности пресс-формы, наиболее значимым является скорость прессования. При использовании водоэмульсионных покрытий толщина слоя разделительного покрытия на поверхности пресс-формы снижается с 19,0 до 3,2 мкм; для жировых разделительных покрытий с порошкообразным наполнителем – с 40,0 до 7,0 мкм. Также установлено, что минимальная толщина смазочного слоя разделительного покрытия наблюдается в зоне литника и находится в пределах от 1,2 до 1,7 мкм для исследуемых водоэмульсионных разделительных покрытий и от 6,0 до 11,0 мкм для жировых смазок. Показано, что при нанесении разделительных покрытий механизированным способом толщина смазочного слоя в 2,0–2,2 раза меньше, чем при нанесении смазки вручную.

Ключевые слова. *Эрозионная стойкость, смазка, разделительное покрытие, пресс-форма, алюминиевый расплав, отливка, распылитель, толщиномер.*

WASHING UP OF SEPARATE COATINGS IN MANUFACTURING CASES FROM ALUMINUM ALLOYS BY PRESSURE CASTING

A. A. PIVOVARCHYK, Yanka Kupala State University of Grodno, Belarus, 22, Ozheshko str. E-mail: piwchik21@tut.by,
A. M. MIKHALTSOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: michaltsov@tut.by

The article presents the results of research of the influence of technological modes of injection molding of aluminum alloys, such as the pressing speed, molding time in a mold, the method of depositing a separation coating on the mold surface and the composition of the lubricant on the erosion resistance of the separation coatings. It is established that the pressing speed is most significant from the factors that influence the thickness of the lubricating layer forming on the working surface of the mold. When using water-based coatings, the thickness of the separation coating layer on the mold surface is reduced from 19,0 to 3,2 μm; for fatty separation coatings with a powder filler from 40,0 to 7,0 μm. It was also found that the minimum thickness of the lubricating layer of the separation coating is observed in the gate area and is in the range from 1,2 to 1,7 μm for the investigated water-emulsion separation coatings and 6,0 to 11,0 μm for fatty greases. It is shown that when the separation coatings are applied by a mechanized method, the thickness of the lubricating layer is 2,0–2,2 times lower than when applying lubricant manually.

Keywords. *Erosion resistance, lubrication, separation coating, mold, aluminum melt, casting, sprayer, thickness gauge.*

Введение

Использование разделительных покрытий (смазок) в технологическом процессе изготовления отливок литьем под давлением является обязательным условием. Смазывание литейной оснастки разделительными покрытиями предохраняет поверхностные слои пресс-формы от эрозионного и теплового воздействия струи металла, снижает трение отливки о пресс-форму в процессе выталкивания, а водорастворимые смазочные материалы одновременно охлаждают поверхностные слои пресс-формы. Обильное, избыточное смазывание пресс-формы приводит к образованию спаев, «мороза» и следов «пятен»

на поверхности отливки, а также к увеличению пористости в отливках. Удовлетворительная работа разделительного покрытия прежде всего связана с эрозионной стойкостью смазочных слоев, образующихся на поверхности пресс-формы после нанесения разделительных покрытий [1–7].

Эрозионная стойкость смазок – одно из важнейших свойств разделительных покрытий: ею определяется вероятность приваривания заливаемого металла к литейной оснастке, уменьшение теплового удара; от нее зависит и качество отливки, так как смываемая смазка, попадая в «тело» отливки, ведет к ухудшению внешнего вида и увеличению пористости. На поверхность пресс-формы разделительные покрытия наносят вручную либо с использованием распылителей различных конструкций. При этом толщина слоя смазки зависит от способа нанесения, времени распыления смазки, скорости ее перемещения, состава и свойств смазочного материала и может варьировать от нескольких до 400–500 молекулярных слоев, а в зависимости от размера молекул может составлять 0,5–0,8 мкм [6, 8–11]. Механизированное нанесение водоэмульсионных смазок стабилизирует теплофизические параметры, связанные с влиянием толщины смазочного слоя на условия формирования отливки и газовый режим работы формы [5, 6, 12]. Предпочтение следует отдавать распылителям эжекционного типа, которые обеспечивают требуемое качество распыления разделительного покрытия и получение разделительного слоя оптимальной толщины, позволяющего извлекать отливки из пресс-формы без образования задиров [3–5].

Цель данной работы – исследование влияния технологических режимов литья под давлением, таких, как скорость прессования, времени выдержки отливки в пресс-форме, способа нанесения разделительного покрытия на поверхность пресс-формы, состава смазки на эрозионную стойкость разделительных покрытий.

Методика проведения экспериментов. Исследования прошли следующие разделительные покрытия: смазка фирмы «Петрофер» (Германия), водоэмульсионные смазки на основе нефтепродуктов (минерального масла Вапор и гидрофобизатора ГФК-1), горного воска, кремнийорганических соединений и смазки на жировой основе, содержащие в своем составе порошкообразные наполнители, такие, как графит, алюминиевую пудру и дисульфид молибдена. Состав исследуемых разделительных покрытий приведен в таблице.

Состав исследуемых разделительных покрытий

Номер состава разделительного покрытия	Разделительное покрытие	Основа, %	ПАВ, %	Наполнитель, %	Вода, %
1	На основе масла Вапор	20	2,5	–	Остальное
2	На основе гидрофобизатора ГФК-1	20	2,5	–	Остальное
3	На основе горного воска	20	2,5	–	Остальное
4	Фирмы «Петрофер», производства Германии	–	–	–	–
5	На основе кремнийорганических соединений	20	2,5	–	Остальное
6	На основе минерального масла с добавкой графита	82	10	8	–
7	На основе минерального масла с добавкой алюминиевой пудры	80	10	10	–
8	На основе минерального масла с добавкой дисульфида молибдена	80	10	10	–

Исследования проводили на машине литья под давлением мод. CLOO 250/25-B2, с холодной горизонтальной камерой прессования с использованием сплава АК12М2. Сплав приготавливали из силумина марки АК12ч и возврата собственного производства (до 50%) в индукционной тигельной печи с графито-шамотным тиглем емкостью 0,4 м^3. Перегретый до температуры 953 К расплав обрабатывали покровно-рафинирующим флюсом в количестве 0,1% от объема расплава, после чего охлаждали вместе с печью до температуры заливки. Контроль и поддержание температуры заливки металла производили с помощью хромель-алюмелевой термопары погружения и регулирующего потенциометра КСП-3. Температура заливаемого расплава в полость формы составляла 893 К. Температуру поверхности пресс-формы измеряли посредством использования хромель-алюмелевой термопары с диаметром электродов 0,2 мм, расположенной в матрице-вставке с внутренней стороны на расстоянии 0,5 мм от рабочей поверхности пресс-формы. Разогрев пресс-формы до рабочей температуры, равной 423 К, производили посредством 10–15 предварительных запрессовок расплава. Шероховатость поверхности формообразующей вставки пресс-формы составляла 0,2 R_a, скорость прессования – 0,2, 0,4, 0,8, 1,0 и 1,2 м/с. Время выдержки запрессованного жидкого металла в пресс-форме до момента извлечения отливки во всех случаях регули-



Рис. 1. Толщина слоя разделительного покрытия, образовавшегося на поверхности пресс-формы после нанесения смазки (скорость прессования 0,6 м/с)

ровали и контролировали с помощью реле времени. Перед нанесением исследуемые водоэмульсионные составы смазок разбавляли технической водой в соотношении 1:50 и наносили при помощи пистолета-распылителя на поверхность пресс-формы с расстояния 0,5 м при давлении воздуха в сети $2{,}5 \cdot 10^5$ Па в течение 5 с. Смазки на жировой основе перед использованием подогревали в специальной таре на раздаточной печи и наносили на поверхность пресс-формы квачом. Прессующий поршень смазывали минимально необходимым количеством жировой смазки на основе минерального масла с добавкой горного воска в соотношении 5:1. Заливаемая отливка из алюминиевого сплава представляла собой прямоугольник с габаритными размерами 120×50×5 мм.

Измерение толщины образовавшегося слоя разделительного покрытия до и после запрессовки расплава на формообразующей поверхности матрицы (в трех точках), а также в зоне литника осуществляли с помощью радиоволнового толщиномера марки ТМ-300, предназначенного для измерения толщины лакокрасочных, оксидных, теплозащитных и иных неметаллических покрытий в лабораторных и промышленных условиях. Результаты исследований приведены на рис. 1–4.

Результаты исследований и их обсуждение. Из рис. 1 видно, что в случае смазывания пресс-формы водоэмульсионными разделительными покрытиями на основе нефтепродуктов толщина слоя смазки минимальна по сравнению со слоями, образованными остальными разделительными покрытиями. Очевидно, это связано с низкой адгезионной способностью смазочных веществ, входящих в состав вышеназванных смазок. Кроме того, термическая стойкость используемых материалов для приготовления данной смазки невысокая и, как следствие, возможна существенная термическая деструкция смазки при заливке расплава. Промежуточные значения показали водоэмульсионные смазки на основе горного воска, зарубежная смазка «Петрофер», а также на основе кремнийорганических соединений. Использование указанных разделительных покрытий позволяет получать более толстый смазочный слой на поверхности пресс-формы. Это происходит благодаря высокой термической стойкости материалов, входящих в состав смазок и большей адгезионной способности по сравнению со смазками на основе нефтепродуктов [12–16]. Максимальные значения толщины смазочного слоя получены при использовании жировых смазок, содержащих в своем составе порошкообразные добавки. Полученный результат прежде всего можно объяснить тем, что данные разделительные покрытия наносили на пресс-форму с помощью квача, что в свою очередь не позволяет обеспечить равномерный смазочный слой на поверхности пресс-формы. Кроме того, в состав данных смазок входят порошкообразные наполнители (графит, алюминиевая пудра, дисульфид молибдена), которые после нанесения на поверхность пресс-формы формируют достаточно толстый разделительный слой благодаря существенному размеру частиц порошка, находящегося в пределах от 3 до 50 мкм.

Установлено, что после удаления отливки толщина слоя, образованного после нанесения разделительных покрытий, уменьшается в среднем на 40–60% при использовании всех исследуемых составов как водоэмульсионных, так и жировых. Отмечено также и увеличение толщины смазочного слоя при нанесении разделительного покрытия на поверхность пресс-формы в течение 3–5 последующих циклов в силу адгезионной способности смазки. При этом увеличение толщины слоя разделительного покрытия наблюдается при использовании смазки на основе горного воска (25%), смазки «Петрофер» (10%), а также смазки на основе кремнийорганических соединений (15%). Дальнейшее увеличение толщины сма-

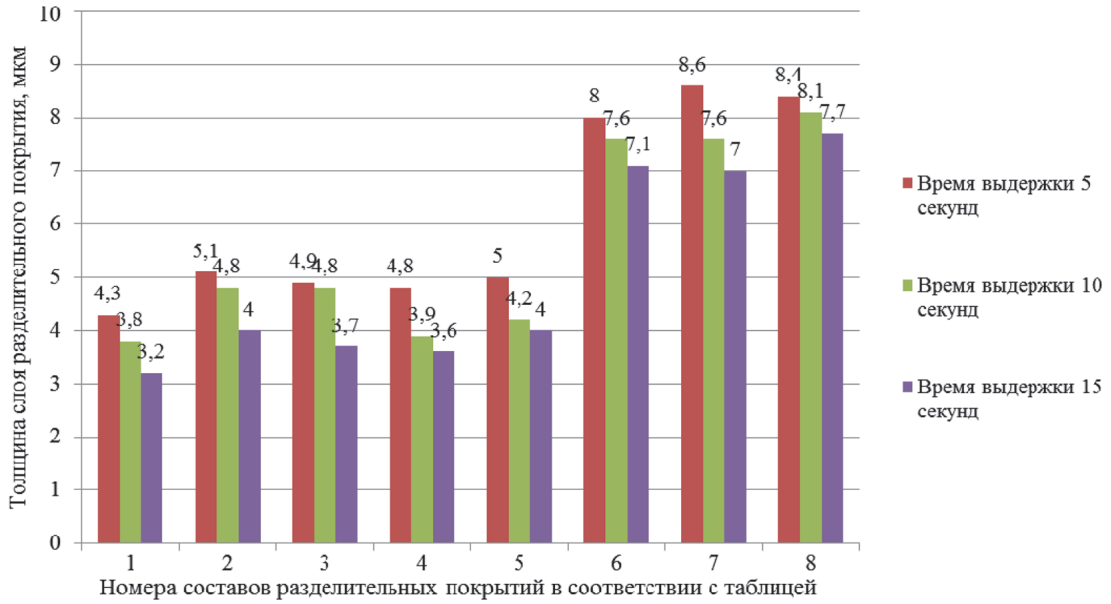


Рис. 2. Изменение толщины слоя разделительного покрытия при различном времени выдержки отливок в пресс-форме (скорость прессования 0,6 м/с)

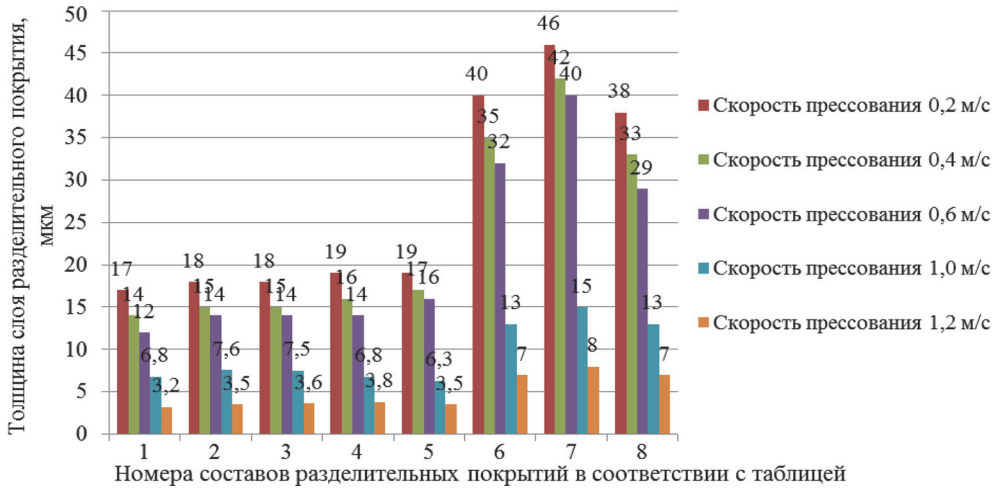


Рис. 3. Изменение толщины слоя разделительного покрытия при различной скорости впуска сплава в пресс-форму (после извлечения отливки)

зочного слоя на поверхности пресс-формы не происходит вследствие невысокой когезионной способности веществ, входящих в состав исследуемых разделительных покрытий [12, 15, 16].

Установлено (рис. 2), что увеличение времени выдержки отливки в пресс-форме перед извлечением с 5 до 15 с ведет к небольшому уменьшению толщины смазочного покрытия в среднем на 15–20%. Это прежде всего связано с тем, что время заполнения полости пресс-формы расплавом незначительно и происходит за считанные доли секунды [6, 8]. При этом температура расплава быстро снижается вследствие высокой теплопроводности оснастки и, как следствие, процесс деструкции разделительного покрытия существенно замедляется. Кроме того, в полости пресс-формы нет достаточного количества кислорода, необходимого для выгорания компонентов, входящих в состав разделительного покрытия. Дефицит кислорода обусловлен вытеснением последнего расплавом через вентиляционные каналы при заполнении полости пресс-формы, а также в силу протекания реакции взаимодействия с жидким алюминиевым сплавом. Наиболее высокую устойчивость при изменении времени выдержки отливки в пресс-форме показала смазка на основе кремнийорганических соединений. Полученный результат объясняется высокой термической стойкостью основы смазки, входящей в состав данного разделительного покрытия [1, 2, 15]. Худший показатель наблюдается у разделительного покрытия на основе гидрофобизатора и масла Вапор вследствие относительно невысокой термической стойкости нефтепродуктов [1, 2].

Из рис. 3 видно, что существенное влияние на толщину слоя исследуемых разделительных покрытий оказывает скорость прессования. Так, при минимальной скорости прессования, равной 0,2 м/с, толщина



Рис. 4. Толщина слоя разделительного покрытия в зоне литника после удаления отливки из полости пресс-формы (скорость прессования 0,6 м/с)

слоя составляет от 17 до 19 мкм для водоэмульсионных покрытий и от 38 до 40 мкм для покрытий, приготовленных с добавкой порошкообразного наполнителя. Дальнейшее увеличение скорости прессования от 0,2 до 1,2 м/с приводит к снижению толщины смазочного слоя в среднем в 4,5–5,5 раза независимо от вида исследуемого разделительного покрытия.

Полученный результат объясняется тем, что при увеличении скорости впуска расплава в полость пресс-формы (дисперсный турбулентный поток) струя жидкого металла оказывает более значительное гидродинамическое давление на слой разделительного покрытия и, тем самым, интенсивно разрушает смазочный слой, сформировавшийся на поверхности пресс-формы [8–11].

Из рис. 4 видно, что максимальный смыв разделительного покрытия происходит в зоне литника. Независимо от скорости впуска и используемых составов смазок толщина слоя разделительного покрытия в зоне литника снижается в 10 раз при использовании водоэмульсионных смазок и в 4–5 раз при использовании жировых смазок с порошкообразными наполнителями. Это связано с тем, что в данной зоне затвердевание расплава происходит в последнюю очередь и пресс-форма испытывает наиболее интенсивное и длительное тепловое воздействие со стороны заливаемого жидкого металла.

Выводы

Установлено, что из исследуемых факторов, оказывающих влияние на величину смазочного слоя, формирующегося на рабочей поверхности пресс-формы, наиболее значимым является скорость прессования. При этом толщина слоя разделительного покрытия снижается с 19,0 до 3,2 мкм при использовании водоэмульсионных покрытий и с 40,0 до 7,0 мкм для разделительных покрытий с порошкообразным наполнителем. Также установлено, что минимальная толщина смазочного слоя наблюдается в зоне литника и составляет от 1,2 до 1,7 мкм для исследуемых водоэмульсионных разделительных покрытий и 6,0–11,0 мкм для жировых смазок. Показано, что при нанесении разделительных покрытий механизированным способом толщина смазочного слоя в 2,0–2,2 раза меньше, чем при нанесении смазки вручную.

ЛИТЕРАТУРА

1. **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.

2. **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.

3. **Пивоварчик А. А., Михальцов А. М., Дашкевич В. Г.** Образование задиров на поверхности отливок при литье алюминиевых сплавов под давлением // Литейщик России. 2013. № 2. С. 40–42.

4. **Михальцов А. М., Пивоварчик А. А., Бежок А. П.** Контактные процессы на границе раздела стержень – отливка при литье под давлением алюминиевых сплавов // Литье и металлургия. 2009. № 4. С. 48–54.

5. Влияние способов нанесения разделительных покрытий на толщину смазочно-разделительного слоя при литье под давлением / А. А. Пивоварчик [и др.] // Литье и металлургия. 2014. № 1. С. 71–74.

6. **Зеленов В. Н.** Смазка пресс-форм литья под давлением / В. Н. Зеленов, Л. Е. Кисиленко. М.: Машиностроение, 1983. 144 с.

7. **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.

8. **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.

9. **Пивоварчик А. А., Михальцов А. М.** Влияние способов нанесения разделительных покрытий на толщину смазочно-разделительного слоя при ЛПД Al-сплавов // Литейное производство. 2014. № 5. С. 24–25.

10. **Рыжиков А. А., Храмов С. С.** О смываемости смазочных покрытий форм литья под давлением // Литейное производство. 1982. № 7. С. 26–27.

11. **Архипенков Ю. В., Тимофеев Г. И.** Смываемость разделительных смазок форм литья под давлением // Литейное производство. 1984. № 3. С. 22–23.

12. **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.

13. **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.

14. **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.

15. **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.

16. **Пивоварчик А. А.** Эрозионная стойкость разделительных покрытий при литье под давлением Al-сплавов // Литейное производство. 2017. № 1. С. 23–26.

REFERENCES

1. **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]. *Liteyschik Rossii = Russian Foundryman*, 2007, no. 1, pp. 36–40.

2. **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]. *Liteyschik Rossii = Russian Foundryman*, 2012, no. 7, pp.33–40.

3. **Pivovarchyk A. A., Mihaltzov A. M., Dashkevich V. G.** Obrazovanie zadirov na poverhnosti otlivok pri lit'e aljuminievyh splavov pod davleniem [Formation of scoring on the surface of castings in the casting of aluminum alloys under pressure]. *Liteyschik Rossii = Russian Foundryman*, 2013, no. 2, pp. 40–42.

4. **Mihaltzov A. M., Pivovarchyk A. A., Bezok A. P.** Kontaktnye protsessy na granitse razdela sterzhen' – otlivka pri lit'e pod davleniem alyuminievyh splavov [Contact processes on boundary of section rod-casting ingot at casting under pressur of aluminium alloys]. *Lit`e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2009, no. 4, pp. 48–54.

5. **Pivovarchyk A. A., Gorbachevsky E. A., Mihaltzov A. M., Dashkevich V. G.** Vlijanie sposobov nanesenija razdelitel'nyh pokrytij na tolschinu smazochno-razdelitel'nogo sloja pri lit'e pod davleniem [Influence of ways of the release coatings laying on thickness of lubricant and dividing layer when molding under pressure]. *Lit`e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2014, no. 1, pp. 71–74.

6. **Zelenov V. N., Kisilenko L. E.** *Smazka press-form lit'ja pod davleniem* [Grease molds injection molding]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983, 144 p.

7. **Mihaltzov A. M., Pivovarchyk A. A., Subbota A. A.** Gazotvornost' razdelitel'nyh pokrytij dlja press-form lit'ja aljuminievyh splavov pod davleniem [Gasification of separation coatings for die-casting molds of aluminum alloys under pressure]. *Lit`e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2010, no. 4, pp. 85–89.

8. **Pivovarchyk A. A., Mihaltzov 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 metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 1, pp. 62–65.

9. **Pivovarchyk A. A., Mihaltzov A. M.** Vlijanie sposobov nanesenija razdelitel'nyh pokrytij na tolshhinu smazochno-razdelitel'nogo sloja pri LPD Al-splavov [Influence of methods of applying coatings dividing the thickness of the lubricant layer separation at ATD Al-alloys]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2014, no. 5, pp. 24–25.

10. **Ryzhikov A. A., Hramov S. S.** O smyvaemosti smazochnyh pokrytij form lit'ja pod davleniem [About washability lubricating coatings injection molding forms]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 1982, no. 7, pp. 26–27.

11. **Arkhipenkov J. V., Timofeev G. I.** Smyvaemost' razdelitel'nyh smazok form lit'ja pod davleniem [Washability release agents die casting forms]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 1984, no. 3, pp. 22–23.

12. **Mikhaltsov A. M., Pivovarchyk A. A.** Issledovanie adgezionnoj sposobnosti smazok na osnove kremnijorganicheskih polimerov dlja lit'ja pod davleniem aljuminievyh 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.

13. **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.

14. **Mihaltzov A. M., Pivovarchyk A. A.** Jerozionnaja stojkost' smazok pri izgotovlenii otlivok iz aljuminievyh splavov metodom lit'ja pod davleniem [Erosion resistance of lubricants in the manufacture of castings from aluminum alloys by injection molding]. *Lit`e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 2, pp. 47–51.

Mihaltzov A. M., Pivovarchyk A. A. Issledovanie adgezionnoj sposobnosti smazok na osnove kremnijorganicheskih polimerov dlja lit'ja pod davleniem aljuminievyh splavov [Investigation of the adhesiveness of lubricants based on organosilicon polymers for die casting of aluminum alloys]. *Liteyschik Rossii = Russian Foundryman*, 2007, no. 7, pp. 11–13.

15. **Pivovarchyk A. A.** Jerozionnaja stojkost' razdelitel'nyh pokrytij pri lit'e pod davleniem Al-splavov [Erosion resistance of separation coatings for injection molding of Al-alloys]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2017, no. 1, pp. 23–26.