



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-1-110-115>  
УДК 621.74.043.2

Поступила 20.01.2020  
Received 20.01.2020

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОСТАВОВ СМАЗОК ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

*А. М. МИХАЛЬЦОВ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: michaltsov@tut.by,*

*А. А. СКАСКЕВИЧ, Я. И. ТИШКОВА, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь, ул. Ожешко, 22. E-mail: askas@grsu.by*

*Приведены требования, предъявляемые к смазкам (разделительным покрытиям), используемым при литье под давлением алюминиевых сплавов и полимерных материалов. Представлена методика проведения исследований по определению триботехнических характеристик материалов, используемых при разработке состава смазки для литья под давлением алюминиевых сплавов и полимерных изделий, а также приведены результаты исследования триботехнических характеристик (коэффициент трения). Установлено, что в качестве материалов, используемых при разработке многофункционального состава смазки для литья алюминиевых сплавов и полимерных изделий, целесообразно использовать фракцию соапстока и фуса после их предварительного отстаивания (не менее 3 мес). Показано, что наименьшее значение коэффициента трения в момент страгивания индентора на поверхности стального диска получено при использовании фуса. При этом значение коэффициента трения на 14–33% ниже, чем аналогичный показатель у других исследуемых смазочных материалов (вазелин, ПМС-100 и соапсток). Установлено, что в режиме возвратно-поступательного движения индентора по поверхности стального диска значение коэффициента трения при использовании фуса в 1,7–3,3 раза ниже, чем при использовании в качестве смазывающего материала вазелина, ПМС-100 и соапстока.*

**Ключевые слова.** Смазка, литье под давлением, алюминиевые сплавы, соапсток, фус, полиметилсилоксановая жидкость, вазелин, трибометр, коэффициент трения.

**Для цитирования.** Михальцов, А. М. Исследование триботехнических характеристик материалов, используемых при разработке составов смазок для литья под давлением алюминиевых сплавов и полимерных изделий / А. М. Михальцов, А. А. Скаскевич, Я. И. Тишкова // *Литье и металлургия*. 2020. № 1. С. 110–115. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-1-110-115>.

## RESEARCH OF TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF MATERIALS USED IN THE DEVELOPMENT OF COMPOSITIONS OF LUBRICANTS FOR CASTING UNDER PRESSURE OF ALUMINUM ALLOYS AND POLYMERIC PRODUCTS

*A. M. MIKHALTSOV, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.*

*E-mail: michaltsov@tut.by,*

*A. A. SKASKEVICH, Ya. I. TSISHKOVA, Yanka Kupala State University of Grodno, Belarus, 22, Ozheshko str.*

*E-mail: askas@grsu.by*

*The article describes the requirements for lubricants (release coatings) used in injection molding of aluminum alloys and polymeric materials. A methodology for conducting research to determine the tribotechnical characteristics of materials used in the development of the composition of a lubricant for injection molding aluminum alloys and polymer products, as well as the results of a study of tribotechnical characteristics (friction coefficient) are presented. It has been established that as materials used in the development of a multifunctional lubricant composition for casting aluminum alloys and polymer products, it is advisable to use a fraction of soap stock and fus after their preliminary sedimentation (at least 3 months). It is shown that the smallest value of the coefficient of friction at the time of indenter breaking on the surface of the steel disk was obtained using a fus. Moreover, the value of the coefficient of friction is 14–33% lower than the same indicator for other studied lubricants (petroleum jelly, PMS-100 and soap stock). It was found that in the mode of reciprocal movement of the indenter on the surface of the steel disk, the coefficient of friction when using a fus is 1,7–3,3 times lower than when using Vaseline, PMS-100 and soap stock as lubricant.*

**Keywords.** *Lubricant, injection molding, aluminum alloys, soap stock, fus, polymethylsiloxane liquid, petroleum jelly, tribometer, coefficient of friction.*

**For citation.** *Mikhaltsov A. M., Skaskevich A. A., Tsishkova Ya. I. Research of tribotechnical characteristics of materials used in the development of compositions of lubricants for casting under pressure of aluminum alloys and polymeric products. Foundry production and metallurgy, 2020, no. 1, pp. 110–115. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-1-110-115>.*

## Введение

Постоянное совершенствование производственных процессов в области литья под давлением (ЛПД) предъявляет повышенные требования к эксплуатационным материалам, таким, как разделительные покрытия (смазки), используемым при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов и полимерных изделий. Применение смазок, а именно нанесение их на рабочую поверхность пресс-формы, является непременным условием, необходимым для выполнения следующих задач: предотвращения образования задиrow на теле отливки, регулирования теплового режима работы пресс-формы, автоматизации технологического процесса ЛПД [1–8].

В свою очередь, использование смазки при ЛПД изделий из полимерных материалов позволяет уменьшить деструкцию полимерного материала в процессе литья, снижает расход полимерного сырья и обеспечивает его экономию, повысить производительность литья, увеличивает долговечность литьевых форм и продлевает срок службы рабочих узлов литьевого оборудования (шнека и материального цилиндра) [3].

Известно [1–10], что в качестве исходных смазывающих материалов, используемых при разработке составов смазок для ЛПД алюминиевых сплавов и полимерных изделий, в большинстве случаев выступают растительные и животные жиры и их производные, минеральные и синтетические масла, побочные продукты переработки нефти, горный воск, сложные эфиры жирных одноосновных кислот (C12–28) и спиртов (многоатомных или высокомолекулярных одноатомных), амиды жирных одноосновных кислот (C12–28), синтетические полиэтиленовые воски (низкомолекулярный PE), соли жирных кислот, кремнийорганические жидкости.

Следует отметить, что выбор основы разрабатываемого состава смазки с применением научно обоснованного подхода, базирующегося на проведении экспериментальных исследований по определению основного технологического свойства смазки – смазывающая способность, позволяющего уменьшить вероятность образования задиrow на теле отливок, является важной задачей.

Цель настоящей работы – исследование триботехнических характеристик материалов, используемых при разработке многофункционального состава смазки, который применяется при ЛПД алюминиевых сплавов, а также полимерных изделий.

## Материалы и методика проведения экспериментов

Триботехнические характеристики материалов, традиционно используемых в составах смазок и вновь предлагаемых выбранных материалов, оценивали по величине коэффициента трения с помощью микротрибометра комбинированного модели FT-2 по схеме «палец–диск». Трибометр комбинированный модели FT-2 предназначен для исследования характеристик трения и изнашивания материалов, а также характеристик смазочных материалов. Трибометр комплектуется сменными головками, позволяющими проводить испытания по одной из двух схем контакта: вращением трех инденторов по неподвижному диску или возвратно-поступательным движением индентора по плоскому образцу. Отличительной особенностью прибора является реализация схемы с неподвижным нижним образцом (плоскостью), что позволяет испытывать смазочные материалы без ограничений. Также прибор дает возможность контролировать температуру неподвижного образца. Трибометр снабжен сервоприводом, допускающим регулировку скорости вращения исполнительного механизма в широких пределах. Нагруженные пары трения осуществляли с помощью автоматизированной системы, приводимой в действие шаговым электродвигателем. При проведении исследований индентор из стали марки ШХ15, имеющий сферическую поверхность, в режиме возвратно-поступательного движения скользил по плоскости диска, изготовленной из стали марки 09Г2С. Поверхность диска перед проведением испытания однократно смазывали испытываемыми материалами, формируя сплошной слой смазки толщиной не менее 100 мкм (режим гидродинамической смазки), с использованием шприца. Количество наносимой смазки во всех случаях составляло 1 мл. Оценку коэффициента трения в указанной паре проводили под нагрузкой, составляющей значение  $20 \pm 1$  Н при скорости скольжения индентора 0,015 м/с. При проведении исследова-

ний регистрировали силу (момент) трения, нагрузку на пару трения, а также температуру стальной подложки.

Коэффициент трения при использовании в качестве смазки выбранных материалов определяли по формуле:

$$f = F_{\text{тр}}/N, \quad (1)$$

где  $F_{\text{тр}}$  – сила трения, Н;  $N$  – нагрузка на пару трения, Н.

В качестве исследуемых материалов выступали вазелин, глицерин, полиметилсилоксановая жидкость, мылосодержащий фус как наиболее перспективные материалы ввиду их экологичности, высокой эрозионной стойкости, низкой газотворности, доступности и относительно невысокой стоимости [5–15].

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Результаты исследований триботехнических характеристик выбранных материалов приведены на рис. 1–4. Кривые изменения значения коэффициента трения в зависимости от материала исследуемого образца являются аппроксимированными логарифмическими зависимостями, построенными с использованием программного обеспечения Excel.

Как следует из рисунков, значение коэффициента трения существенно изменяется в течение первых 2 секунд с момента начала проведения исследований. В течение данного отрезка времени индентор проходит по поверхности стального диска расстояние, не превышающее 3,5 мм, при установленной скорости скольжения индентора, равной 0,015 м/с. В свою очередь, исследуемый смазочный материал, а именно образовавшийся слой смазочной пленки, работает в наиболее жестких условиях, так как на данном этапе происходит разрушение образовавшегося на поверхности стальной подложки слоя смазочной пленки, сопровождающееся «подрывом» индентора, т. е. его страгиванием и дальнейшим перемещением по поверхности стального диска. При этом слой смазочной пленки работает в режиме гидродинамической смазки. Таким образом, момент «подрыва» или страгивания индентора можно рассматривать как момент, при котором происходит сьем отливки со стержня и дальнейшее разделение контактирующих поверхностей. Следует отметить, что на практике для процесса ЛПД алюминиевых сплавов сьем отливки со стержней происходит также в достаточно короткий отрезок времени, как правило, до 2 с. Выполнен-

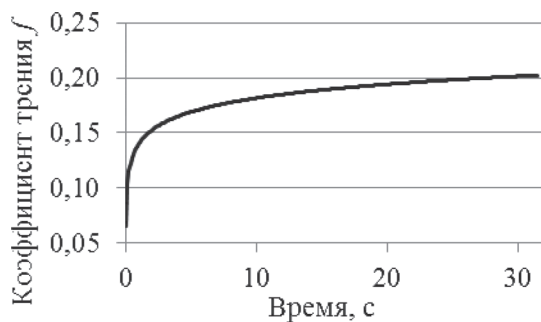


Рис. 1. Зависимость изменения коэффициента трения от пути скольжения индентора по плоскому образцу при его смазывании вазелином

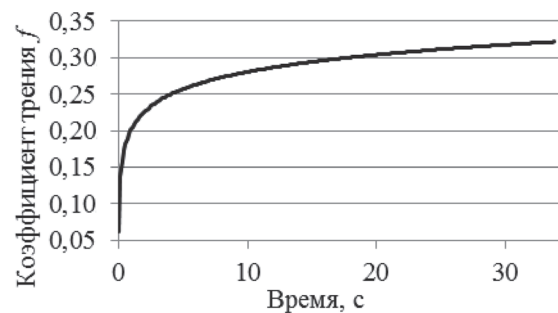


Рис. 2. Зависимость изменения коэффициента трения от пути скольжения индентора по плоскому образцу при его смазывании полиметилсилоксановой жидкостью марки ПМС-100

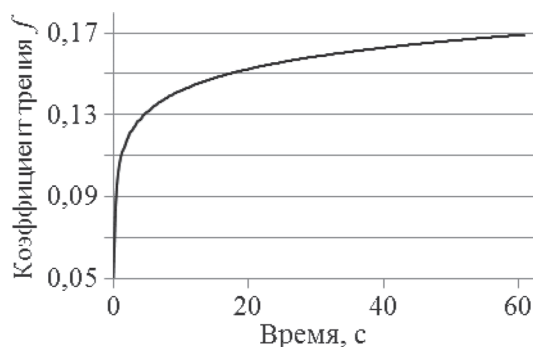


Рис. 3. Зависимость изменения коэффициента трения от пути скольжения индентора по плоскому образцу при его смазывании мылосодержащим фусом

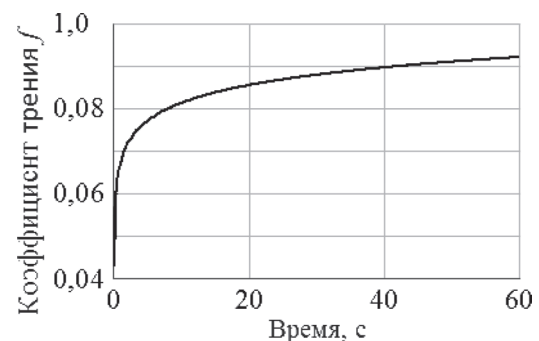


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от пути скольжения индентора по плоскому образцу при его смазывании глицерином

ные ранее исследования [17–19] показывают, что разделение контактирующих поверхностей отливки и стержня зависит от значения технологического уклона стержня и при угле стержня от 1 до 3° разделение контактирующих поверхностей происходит при перемещении стержня на длину не более 60–100 мкм. Таким образом, можно утверждать, что полученные значения коэффициента трения в начальный период времени (до 2 с) свидетельствуют о работе смазочного слоя исследуемого материала в условиях, максимально приближенных к реальному процессу работы смазочной пленки на границе раздела отливка-стержень, а также о фактической смазывающей способности исследуемых материалов. Значение коэффициента трения для исследуемых материалов составляет от 0,043 до 0,05.

При проведении исследований от 2 до 5 с значение коэффициента трения для всех исследуемых материалов находится в пределах 0,06–0,12.

Значение коэффициента трения при времени проведения исследований более 5 с практически не изменяется и для всех исследуемых материалов составляет 0,12–0,34, при этом слой смазочной пленки работает в граничном режиме.

Результаты исследований показали, что значение коэффициента трения в момент страгивания индентора по поверхности стального диска при использовании вазелина составило 0,065 (рис. 1), при использовании ПМС-100 – 0,06 (рис. 2). Полученные результаты триботехнических испытаний вазелина и ПМС-100 указывают на возможность их использования в качестве компонентов технологических смазок для разделения контактирующих поверхностей на границе раздела отливка-стержень. Об этом свидетельствует низкое значение коэффициента трения в начальный момент подрыва индентора трибометра. Однако вазелин и ПМС-100 не обладают достаточной несущей способностью смазочного слоя, что отражается в повышении значения коэффициента трения для данных материалов в режиме возвратно-поступательного движения индентора по поверхности стального диска (около 0,18 и 0,3).

Следует отметить, что в состоянии поставки перед проведением исследований триботехнических характеристик соапстока и фуса проводили предварительное отстаивание указанных материалов в течение 3 мес вследствие неоднородности состава этих материалов по объему. Экспериментально установлено, что при использовании отстоявшейся фракции соапстока и фуса значения коэффициента трения в момент страгивания индентора по поверхности стального диска составляют 0,05 и 0,043 ед. соответственно, что в среднем в 1,4–1,8 раза ниже, чем при использовании не отстоявшейся фракции данных материалов. Полученный результат можно объяснить тем, что в отстоявшейся фракции (20% от объема) присутствуют меньшее количество воды и более значительное количество предельных и непредельных жирных кислот (стеариновая и олеиновая), общий процент которых в объеме достигает 78%. В свою очередь ранее выполненные исследования [1–3, 16] показывают, что предельные и непредельные жирные кислоты обладают достаточно высокими смазывающими свойствами в сравнении с вазелином и ПМС-100.

Из рис. 3, 4 видно, что в режиме возвратно-поступательного движения индентора по поверхности стального диска значения коэффициентов трения при использовании соапстока и фуса составляют 0,16 и 0,09 ед. соответственно.

### Выводы

1. Установлено, что в качестве материалов, используемых при разработке multifunctional состава смазки для литья алюминиевых сплавов и полимерных изделий, целесообразно использовать фракцию соапстока и фуса после их предварительного отстаивания (не менее 3 мес).

2. Результаты исследований показали, что наименьшее значение коэффициента трения в момент страгивания индентора на поверхности стального диска получено при использовании фуса. При этом значение коэффициента трения ниже на 14–33%, чем аналогичный показатель у других исследуемых смазочных материалов (вазелин, ПМС-100 и соапсток).

3. Установлено, что в режиме возвратно-поступательного движения индентора по поверхности стального диска значение коэффициента трения при использовании фуса в 1,7–3,3 раза ниже, чем при использовании в качестве смазывающего материала вазелина, ПМС-100 и соапстока.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Михальцов А. М., Розум В. А., Пивоварчик А. А. Водоэмульсионные смазки для пресс-форм литья под давлением // Литье и металлургия. 2005. № 4. С. 104–106.
2. Пивоварчик А. А., Михальцов А. М. Смываемость разделительных покрытий при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов методом литья под давлением // Литье и металлургия. 2018. № 1. С. 78–83.

3. Калинин Э. Л., Саковцева М. Б. Эффективное литье под давлением полимерных материалов со смазками // Полимерные материалы. 2014. № 7. С. 14–26.
4. Пивоварчик Е. В., Михальцов А. М. Смазка для изготовления песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке // Литье и металлургия. 2018. № 1. С. 69–74.
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.
15. Пивоварчик А. А. Эрозионная стойкость разделительных покрытий при литье под давлением Al-сплавов / А. А. Пивоварчик // Литейное производство. 2017. № 1. С. 23–26.
16. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А., Скаскевич А. А. Перспективные материалы, используемые при разработке составов смазок для литья под давлением // Литье и металлургия. 2019. № 3. С. 70–73.
17. Михальцов А. М., Пивоварчик А. А., Киселев С. В. Анализ явлений, возникающих в зоне контакта отливка – стержень при литье под давлением алюминиевых сплавов // Металлургия: Республ. межвед. сб. науч. тр. Минск: БНТУ, 2011. № 33. С. 131–137.
18. 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.
19. 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.

## REFERENCES

1. Mikhaltsov A. M., Rozum V. A., Pivovarchyk A. A. Vodojemul'sionnye smazki dlja press-form lit'ja pod davleniem [Water emulsion lubricants for injection molding molds]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2005, no. 4, pp. 104–106.
2. Pivovarchyk A. A., Mikhaltsov A. M. Smyvaemost' razdelitel'nyh pokrytij pri izgotovlenii otlivok iz aljuminievych spлавov metodom lit'ja pod davleniem [Washing up of separate coatings in the manufacturing cases from aluminum alloys by pressure casting]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2018, no. 1, pp. 78–83.
3. Kalinchev E. L., Sakovtseva M. B. Jeffektivnoe lit'e pod davleniem polimernyh materialov so smazkami [Effective injection moulding of polymer materials with lubricants]. *Polimernye materialy = Polymer materials*, 2014, no. 7, pp. 14–26.
4. Pivovarchyk E. V., Mikhaltsov M. A. Smazka dlja izgotovlenija peschano-smoljanyh sterzhnej po nagrevaemoj osnastke [Lubricants for the manufacture of sand-smoothed rods by hydraulic tooling]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2018, no. 1, pp. 69–74.
5. Mikhaltsov A. M., Pivovarchyk A. A., Subbota A. A. Gazotvornost' razdelitel'nyh pokrytij dlja press-form lit'ja aljuminievych spлавov 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. Mikhaltsov 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. Mikhaltsov A. M., Pivovarchyk A. A., Slepneva L. M. Razrabotka kompleksnogo komponenta na osnove kremnijorganicheskikh 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 kremnijorganicheskikh 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 Foundrymen*, 2007, no. 1, pp. 36–40.
9. Mikhaltsov A. M., Pivovarchyk A. A., Dyatlovsky S. K. Materialy razdelitel'nyh pokrytij press-form lit'ja aljuminievych spлавov pod davleniem [Materials of separation coatings of die-casting molds of aluminum alloys under pressure]. *Liteyschik Rossii = Russian Foundrymen*, 2012, no. 7, pp. 33–40.
10. Pivovarchyk A. A., Mikhaltsov 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. **Mikhaltsov A. M., Pivovarchyk A. A.** Issledovanie adgezionnoj sposobnosti smazok na osnove kremnijorganicheskikh 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.
12. **Mikhaltsov 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 metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 2, pp. 47–51.
13. **Mikhaltsov 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]. *Litejschik Rossii = Russian Foundrymen*, 2007, no. 7, pp. 11–13.
14. **Mikhaltsov A. M., Pivovarchyk A. A.** Nakoplenie razdelitel'nyh pokrytij na rabochej poverhnosti tehnologicheskoi 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]. *Metallurgija: Respublicanskij mezhvedomstvennyi sbornik nauchnyh trudov = Metallurgy: Republican interdepartmental collection of scientific works*. Minsk, BNTU Publ., 2007, vyp. 31, pp. 179–189.
15. **Pivovarchyk A. A.** Jerozionnaja stojkost' razdelitel'nyh pokrytij pri lit'e pod davleniem Al-splavov [Erosion resistance of release coatings for injection molding of Al alloys]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2017, no. 1, pp. 23–26.
16. **Mikhaltsov A. M., Pivovarchyk A. A., Skaskevich A. A.** Perspektivnye materialy, ispol'zuemye pri razrabotke sostavov smazok dlja lit'ja pod davleniem [Promising materials used in the development of lubricant compositions for injection molding]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2019, no. 3, pp. 70–73.
17. **Mikhaltsov A. M., Pivovarchyk A. A., Kiselev S. V.** Analiz javlenij, vznikajushchih v zone kontakta otlivka – sterzhen' pri lit'e pod davleniem aljuminievyh splavov [Analysis of the phenomena arising in the contact zone of the casting – core during injection molding of aluminum alloys]. *Metallurgija: Respublicanskij mezhvedomstvennyi sbornik nauchnyh trudov = Metallurgy: Republican interdepartmental collection of scientific works*. Minsk, BNTU Publ., 2011, vyp. 33, pp. 131–137.
18. **Pivovarchyk A. A., Mikhaltsov 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]. *Litejschik Rossii = Foundry production*, 2013, no. 2, pp. 40–42.
19. **Mikhaltsov A. M., Pivovarchyk A. A., Bezok A. P.** Kontaktnye processy na granice razdela sterzhen' – otlivka pri lit'e pod davleniem aljuminievyh splavov [Contact processes at the interface of the rod – casting during injection molding of aluminum alloys]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2009, no. 4, pp. 48–54.