

УДК 621.7.079

**А. А. Пивоварчик**<sup>1</sup>, кандидат технических наук, доцент,**А. К. Гавриленя**<sup>2</sup>, кандидат технических наук, доцент<sup>1</sup>Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», ул. Ожешко, 22, 230021 Гродно, Республика Беларусь, +375 (29) 876 68 24, Pivovarchik\_AA@grsu.by<sup>2</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь, +375 (29) 22 259 33, AndrejGavrilenya@mail.ru

## ВОДОЭМУЛЬСИОННАЯ СМАЗКА ДЛЯ ПЕСЧАНО-СМОЛЯНЫХ СТЕРЖНЕЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ ПО НАГРЕВАЕМОЙ ОСНАСТКЕ

В статье представлены результаты исследований по разработке состава водоэмульсионной смазки, используемой при изготовлении песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке. Установлено, что условная вязкость разрабатываемых составов смазок снижается с 10 до 8 с при добавлении олеиновой кислоты к полиметилсилоксановой жидкости в количестве от 5 до 25 %, также отмечается снижение плотности смазок с 908 до 882 кг / м<sup>3</sup>. Показано, что добавление олеиновой кислоты к основе в количестве 15 % приводит к повышению седиментационной устойчивости смазки более чем в 30 раз. Экспериментально установлено, 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 — 3 %, вода — остальное.

Результаты исследований могут быть использованы инженерами-технологами при выборе состава смазки для изготовления стержней по нагреваемой оснастке.

**Ключевые слова:** водоэмульсионная смазка; олеиновая кислота; растительное масло; песчано-смоляная смесь; стержень; стержневой ящик; дефект.

Табл. 3. Библиогр.: 14 назв.

**A. A. Pivovarchyk**<sup>1</sup>, PhD in Technical Sciences, Associate Professor,**A. K. Haurylenia**<sup>2</sup>, PhD in Technical Sciences, Associate Professor<sup>1</sup>Institution of Education “Yanka Kupala State University of Grodno”, 22 Ozhesko Str., 230021 Grodno, the Republic of Belarus, +375 (29) 876 68 24, Pivovarchik\_AA@grsu.by<sup>2</sup>Institution of Education “Baranavichy State University”, 21 Voykova Str., 225404 Baranavichy, the Republic of Belarus, +375 (29) 22 259 33, AndrejGavrilenya@mail.ru

## WATER-BASED EMULSION LUBRICANT FOR SAND-RESIN RODS MANUFACTURED USING HEATED TOOLING

The article presents the findings of research conducted on the development of a water-based emulsion lubricant utilised in the fabrication of sand-resin rods employing heated tooling. The study revealed that the conditional viscosity of the developed lubricant formulations decreased from 10 to 8 seconds when oleic acid was incorporated into polymethylsiloxane liquid in quantities ranging from 5 to 25 per cent. Additionally, a decline in lubricant density was observed, from 908 to 882 kilograms per cubic metre. It has been demonstrated that the incorporation of oleic acid into the base, in a quantity of 15 %, results in an enhancement of the lubricant's sedimentation stability by more than 30 times. Through experimental analysis, it has been determined that the developed lubricant composition optimises both technological and consumer properties when formulated with the specific component ratio of 15 % base (polymethylsiloxane liquid PMS 300), 15 % additive (oleic acid), 3 % surfactant, and the remainder water.

These findings can be utilised by process engineers when selecting the lubricant composition for the manufacture of rods using heated tooling.

**Key words:** water-based emulsion lubricant; oleic acid; vegetable oil; sand-resin mixture; rod; rod box; defect.

Table 3. Ref.: 14 titles.

**Введение.** В настоящее время предъявляются достаточно высокие требования к качеству стержней, изготавливаемых из песчано-смоляных смесей. Стержни из 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 холоднотвердеющих и жидких самотвердеющих смесей вследствие продолжительного цикла их затвердевания наиболее целесообразно для единичного, мелкосерийного и реже серийного производства средних и крупных по массе стержней. Указанные недостатки отсутствуют 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, возможность получения отливок с чистой поверхностью и высокой размерной точностью. Однако стержневые смеси на основе различных терморезактивных связующих налипают на рабочую поверхность стержневого ящика, что ухудшает качество поверхности стержней, их размерную точность, увеличивает брак, а в некоторых случаях может быть причиной полного разрушения стержней при их извлечении. Наибольшей налипаемостью на поверхность стержневого ящика обладают стержневые смеси, при изготовлении которых в качестве связующего используются фенолоформальдегидные смолы [1; 2]. В целях уменьшения налипания стержневой смеси на поверхность стержневого ящика неотъемлемой частью технологии получения песчано-смоляных стержней является использование смазки, которая существенно снижает действие сил адгезии между стержнем и стержневым ящиком в процессе его изготовления [1—4]. К смазкам, используемым при изготовлении стержней из песчано-смоляных смесей по нагреваемой оснастке, 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, смазка должна обеспечивать многократное извлечение стержней из оснастки после разового нанесения, высокая седиментационная устойчивость [1; 3].

В настоящее время на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь при изготовлении головок блоков цилиндров тракторов и автобусов для стержней по нагреваемой оснастке широко используется смазка КЭ-1001 производства ЗГП «Кремнийполимер» (Украина), а также смазка СВ-3 производства ОДО «Эвтектика» (Беларусь). Однако вышеуказанные водоземulsionные смазки содержат фунгициды, которые препятствуют разложению органической основы смазки при длительном хранении и при испарении выбрасывают в атмосферу вредные для здоровья человека компоненты [2].

Данная работа направлена на создание импортозамещающей продукции путем разработки отечественного состава водоземulsionной смазки, используемой при изготовлении песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке. Применение разработанного состава водоземulsionной смазки позволит уменьшить брак при изготовлении песчано-смоляных стержней.

Целью данной работы является разработка состава водоземulsionной смазки для изготовления песчано-смоляных стержней, его исследование и совершенствование.

**Материалы и методы исследования.** На кафедре материаловедения и ресурсосберегающих технологий (ГрГУ им. Я. Купалы) совместно с кафедрой «Металлургия литейных сплавов» (БНТУ) разработана водоземulsionная смазка для изготовления стержней из песчано-смоляных смесей по нагреваемой оснастке. Выбор компонентов состава смазки для изготовления стержней из песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке осуществляли исходя из требований, предъявляемых к данным смазкам. В качестве основы разработанной смазки был выбран высокомолекулярный кремнийорганический полимер — полиметилсилоксановая жидкость ПМС 300. Известно, что полиметилсилоксановая жидкость ПМС 300 обладает высокой разделяющей способностью, относительно высокой термостойкостью (до 305 °С), низкой газотворностью при температурах до 573 К (15 см<sup>3</sup>/г), а также является экологически безопасным продуктом [5—10]. Следует отметить, что

полиметилсилоксановая жидкость марки ПМС 300 имеют существенный недостаток — относительно низкую смазывающую способность [4—6]. В работах [7—9] указывается, что для повышения смазывающей способности смазки целесообразно использовать в качестве добавки экологически безопасные вещества растительного и животного происхождения: растительные масла, животные жиры и их производные (жирные кислоты). Данные вещества хорошо смешиваются с полиметилсилоксановыми жидкостями (особенно после их нагрева), образуя густую однородную массу. Исходя из вышесказанного, было принято решение использовать добавку олеиновой кислоты и растительного масла.

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 использовалась вода.

Для приготовления составов смазки использовали двухлопастной лабораторный смеситель с частотой вращения лопаток  $1250 \text{ мин}^{-1}$ . Точное дозирование компонентов смазки перед перемешиванием производилось объемным методом с использованием 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  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  и контролировалась при помощи термометра А1 (ГОСТ 28498-90) с ценой деления  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Время перемешивания исходных компонентов составляло 10 мин. Седиментационная устойчивость смазки оценивалась по времени расслоения приготовленной водной эмульсии. Условная вязкость составов смазки определялась 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 рН разработанных составов смазок применяли рН-метр (рН-150) с погрешностью измерений не более  $\pm 0,1$  ед. рН.

Перед нанесением смазки на поверхность стержневого ящика исследуемые водоэмульсионные смазки в зависимости от сложности изготавливаемых стержней разбавляли водой в соотношении от 1:20 до 1:50. 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 составляла 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  $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Шероховатость поверхности стержневого ящика составляла 0,4 Ra. 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 контролировалось беспрепятственное извлечение стержней из стержневого ящика, налипание смазки на формообразующую поверхность стержневого ящика, дальнейшее качество покраски стержней.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Составы разработанных водоэмульсионных смазок представлены в таблице 1.

Таблица 1. — Составы разработанных водоэмульсионных смазок

Номер состава	Массовая доля основных компонентов, %				
	Полиметилсилоксановая жидкость марки ПМС 300	Олеиновая кислота	Растительное масло	ПАВ	Вода
1	15	5	—	3,0	Остальное
2	15	10	—	3,0	Остальное
3	15	15	—	3,0	Остальное
4	15	20	—	3,0	Остальное

Окончание таблицы 1

Номер состава	Массовая доля основных компонентов, %				
	Полиметилсилоксановая жидкость марки ПМС 300	Олеиновая кислота	Растительное масло	ПАВ	Вода
5	15	25	—	3,0	Остальное
6	15	—	5	3,0	Остальное
7	15	—	10	3,0	Остальное
8	15	—	15	3,0	Остальное
9	15	—	20	3,0	Остальное
10	15	—	25	3,0	Остальное
11 (КЭ-1001)	—	—	—	—	—
12 (СВ-3)	—	—	—	—	—

В таблице 2 показаны физико-химические и потребительские свойства разработанных составов смазок для изготовления стержней по нагреваемой оснастке.

Рабочая температура поверхности стержневого ящика после извлечения стержней составляла 200...205 °С. Показано, что условная вязкость разработанных составов смазок 1...5 снижается с 10 до 8 с при добавлении к основе олеиновой кислоты в количестве от 5 до 25 % (см. таблицу 2). Экспериментально установлено, что при добавлении олеиновой кислоты к основе смазки наблюдается снижение плотности составов смазок 1...5 с 908 до 882 кг/м<sup>3</sup>. Полученное изменение вязкости и плотности исследуемых составов смазок обусловлено изменением сопротивления жидкости сдвигу вследствие проникновения между молекулами полиметилсилоксановой жидкости ПМС 300 молекул веществ, входящих в состав добавки, что приводит к разрыхлению основы смазки [7; 8]. Следует отметить, что с увеличением количества олеиновой кислоты в смазке наблюдается повышение уровня рН с 7,7 до 8,3 ед. рН. Также наблюдается существенный рост седиментационной устойчивости состава смазки 3 (более 9 мес.) при добавке свыше 15 % олеиновой кислоты к основе смазки, что соответствует седиментационной устойчивости исследуемых аналогов (составы 11 и 12). Однако дальнейшее увеличение количества олеиновой кислоты (более 25 %) и ПАВ (до 5 %) не приводит к росту седиментационной устойчивости приготавливаемой эмульсии.

Т а б л и ц а 2. — Физико-химические и потребительские свойства разработанных составов смазок для изготовления стержней по нагреваемой оснастке

Номер состава	Свойства составов			
	Условная вязкость по ВЗ-4 при 20 °С, с	Плотность, кг / м <sup>3</sup>	рН	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)	10	910	7,0	> 9

Экспериментально установлено, что условная вязкость разработанных составов смазок 6...10 возрастает с 10 до 12 с при добавлении к основе растительного масла в количестве от 5 до 25 %. При этом плотность смазки увеличивается от 915 до 938 кг / м<sup>3</sup>, а значение pH находится в диапазоне от 7,1 до 7,2 ед. pH. Следует отметить, что добавка растительного масла не способствует значительному разрыхлению основы смазки. Кроме того, седиментационная устойчивость составов смазки 6...10 составляет не более 0,6 мес. и в 15 раз уступает по данному показателю исследуемым аналогам (составы 11 и 12).

В таблице 3 показаны результаты исследования технологических свойств разработанных составов смазок, используемых при изготовлении стержней по нагреваемой оснастке.

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

Номер состава	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.

При использовании составов смазок 1 и 2 после удаления стержней из стержневого ящика из-за налипания стержневой смеси на формообразующую поверхность стержневого ящика наблюдаются сколы и трещины в стержнях (см. таблицу 3). Это обусловлено тем, что составы смазок 1 и 2 обладают низкой смазывающей способностью ввиду незначительного количества добавки олеиновой кислоты (5 и 10 % соответственно). Данные составы имеют сравнительно невысокую адгезионную способность к поверхности стержневого ящика и, как следствие, низкую эрозионную устойчивость смазочного слоя при вдувании стержневой смеси в формообразующую полость стержневого ящика [10—13]. Нужно отметить отсутствие контролируемых видов дефектов, возникающих при изготовлении стержней из песчано-смоляных смесей по нагреваемой оснастке, при использовании состава смазки 3 (ПМС 300 — 15 %, олеиновая кислота — 15 %, ПАВ — 3,0 %, вода — остальное). Полученный результат объясняется тем, что олеиновая кислота относится к группе жирных кислот, которые обладают высокими смазывающими свойствами [6—9]. Результаты исследований показывают, что увеличение количества добавки олеиновой кислоты (более 15 %) к основе смазки способствует появлению дефекта стержней по качеству покраски: часть поверхности стержня не окрашивается. Это происходит вследствие накопления смазки на формообразующей поверхности стержневого ящика из-за 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, налипание стержневой смеси на формообразующую поверхность стержневого ящика (см. таблицу 3). Очевидно, что наличие данного вида дефекта обусловлено невысокой смазывающей способностью смазки и низкой адгезионной стойкостью смазочного слоя, образующегося на поверхности стержневого ящика. При использовании в качестве добавки растительного масла лучшие технологические свойства наблюдаются у состава смазки 8, но при его использовании имеет место дефект, выраженный в снижении качества покраски. Следует отметить, что при содержании 12,0...13,5 % растительного масла в составе смазки 8 дефект по качеству покраски не наблюдается. Исследование составов смазки 9 и 10 показали, что при изготовлении стержней имеют место дефекты, выраженные в налипании смазки на формообразующую поверхность стержневого ящика, а также дефекты по качеству покраски стержней. Полученный результат объясняется наличием в растительном масле предельных и непредельных жирных кислот (стеариновая и олеиновая кислоты) и их производных, обладающих высокой смазывающей и эрозионной способностью, что способствует накоплению смазки на поверхности стержневого ящика и стержня [10—14].

При проведении экспериментов с использованием составов смазок 11 и 12 отмечается 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.

**Заключение.** Проведенные исследования позволили установить, что при изготовлении стержней из песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке в качестве водоэмульсионной смазки целесообразно использовать состав на основе полиметилсилоксановой жидкости ПМС 300 с добавкой олеиновой кислоты. При этом оптимальное количество олеиновой кислоты в составе смазки составляет 15 %. Разработанный состав водоэмульсионной смазки обладает высокими технологическими свойствами и не уступает по потребительским свойствам исследуемым аналогам.

#### Список цитируемых источников

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. Водоэмульсионные 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. Водоэмульсионные 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. Суббота // Литье и металлургия. — 2010. — № 4. — С. 85—89.
6. Михальцов, А. М. Разработка водоэмульсионных 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—134.
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. — 2007. — № 31. — С. 179—189.

Поступила в редакцию 08.04.2025.