

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПОСЛЕ ЭПИЛАМИРОВАНИЯ

В.П. ГИЛЕТА, канд. техн. наук, доцент
В.Б. АСАНОВ, канд. техн. наук, доцент
А.И. БЕЗНЕДЕЛЬНЫЙ, канд. техн. наук, доцент
(НГТУ, г. Новосибирск)

Поступила 18 ноября 2016
Рецензирование 23 декабря 2016
Принята к печати 17 января 2017

Гилета В.П. – 630073, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: v.gileta@corp.nstu.ru

Рассмотрено влияние пленок, получаемых эпиламированием, на эксплуатационные свойства деталей топливного насоса. Износостойкость и контактная жесткость сравниваются у поверхностей, подвергнутых шлифованию и шлифованию+эпиламированию в смазочной композиции 6СФК-180-05. Изнашивание образцов из стали 45 в сыром и термообработанном состоянии производилось на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «диск–колодка». Результаты свидетельствуют, что поверхность, прошедшая комбинированную обработку (шлифование+эпиламирование), имеет более высокую износостойкость по сравнению со шлифованной как на этапе приработки, так и при установившемся износе.

Испытания на контактную жесткость деталей топливного насоса ДВС (диска упора и тарелки регулятора), произведенные на специальной установке, имитирующей работу регулятора, показали, что эпиламирование приводит к уменьшению ширины и глубины канавки смятия по сравнению с этими же параметрами, полученными на шлифованной поверхности. Уменьшение этих показателей говорит об увеличении контактной жесткости поверхностей с нанесенными пленками эпилам.

Для выяснения причин влияния эпиламирования на изучаемые эксплуатационные свойства дополнительно были исследованы микрогеометрические и физико-механические характеристики поверхностного слоя, в частности, шероховатость (Ra) и микротвердость (Hц) до и после эпиламирования, а также маслоудерживающие свойства этих поверхностей. Эпиламирование не изменяет шероховатость и микротвердость, но увеличивает маслоудерживание поверхности. С учетом неизменности микрогеометрических и физико-механических характеристик поверхности после эпиламирования в работе сделано предположение, что повышение износостойкости и контактной жесткости обусловлено улучшением маслоудерживающих свойств поверхности с нанесенными пленками.

Ключевые слова: эпиламирование, эпилам, детали транспортных средств, шероховатость поверхности, микротвердость, эксплуатационные свойства, износостойкость, контактная жесткость, маслоудерживающие свойства.

DOI: 10.17212/1994-6309-2017-1-13-19

Введение

Технология эпиламирования находит широкое применение в различных областях (промышленность, медицина и др.) для повышения гидрофобных, антикоррозионных, антифрикционных и других свойств, причем для разнообраз-

ных материалов (металлов и их сплавов, пластмасс, резиновых изделий, камней и деталей с драгоценными покрытиями, элементов микроэлектроники) [1–7]. Известно использование эпилам для увеличения стойкости режущих инструментов, эффективности работ узлов различных машин и механизмов, работающих в условиях

трения и циклического нагружения при разных температурных режимах [8–15]. Эпиламирование – процесс нанесения сверхтонких полимерных покрытий фторсодержащими поверхностно-активными веществами (ПАВ), обеспечивающий получение пленки толщиной 40...100 Å [16–17].

На основе фторПАВ созданы многофункциональные антифрикционные и защитные композиции (эпиламы), имеющие различные торговые марки.

Процесс эпиламирования легко реализуем и не требует существенных материальных и энергетических затрат [13–14], поэтому представляет большой интерес изучение влияния наноразмерных пленок эпилам на работоспособность деталей машин.

Цель настоящих исследований – определение перспективности применения технологии эпиламирования для деталей транспортных средств с точки зрения повышения их эксплуатационных свойств.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились на образцах и реальных деталях регулятора топливного насоса (диск упора, тарелка регулятора).

Материалом образцов для испытаний на износостойкость служила сталь 45, которая широко применяется для деталей двигателя и трансмиссии автотранспортных средств, например: кулачковых валов насосов высокого давления, распределительных и коленчатых валов и других, отдельные поверхности которых закаливаются. Образцы цилиндрической формы изготавливались в двух вариантах: с твердостью HB 170...185 в состоянии поставки и с твердостью HRC_э 53...55, полученной закалкой ТВЧ. Окончательная микрогеометрия поверхности образцов формировалась шлифованием с Ra 0,76...0,80 мкм.

Тарелки регулятора и диски упора выполнялись из стали 20X по заводской технологии, включающей в себя цементацию и закалку до твердости HRC_э ≥ 57 с последующим шлифованием до Ra 0,63 мкм.

Испытание на износ проводилось на образцах в условиях трения скольжения с наличием смазки (индустриальное 20) на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «диск–колодка». В каче-

стве материала контртела (колодка) использовался чугунок марки СЧ-30. Нагрузка на образец со стороны контртела составляла 200 Н.

Износ образцов оценивался по потере веса с помощью аналитических весов ВСЛ-60/0,1А с дискретностью 0,1 мг. Базовое число оборотов на одно взвешивание – 20 000.

Долговечность и функциональные свойства регулятора существенно зависят от контактной жесткости рабочих поверхностей диска упора и тарелки. Оценка контактной жесткости производилась на основе лабораторных испытаний с использованием специального устройства (рис. 1), воспроизводящего условия работы регулятора, близкие к реальным.

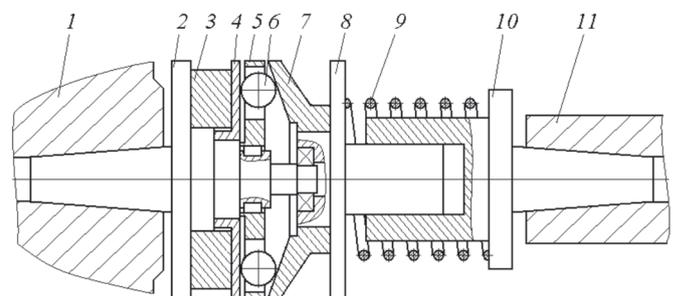


Рис. 1. Устройство для испытания на контактную выносливость диска упора и тарелки регулятора:

1 – шпиндель станка; 2 – оправка для диска упора; 3 – предохранительное кольцо; 4 – диск упора; 5 – сепаратор; 6 – тела качения (шары); 7 – тарелка регулятора; 8 – оправка для тарелки регулятора; 9 – пружина; 10 – держатель; 11 – пиноль задней бабки

Конструктивно устройство представляет собой совокупность двух блоков, устанавливаемых в шпиндель и пиноль задней бабки токарного станка. Первый блок (устанавливаемый в шпиндель) представляет собой набор элементов, посредством которых осуществляется передача крутящего момента от станка через сепаратор к телам качения. Этот блок служит для установки диска упора 4 на оправку 2. Предохранительным кольцом проворачивают диск упора при схватывании между испытуемыми деталями и телами качения. Второй блок предназначен для создания силового замыкания в исследуемой системе диск упора – шар – тарелка регулятора. Требуемая нагрузка, характерная для работы топливного регулятора, создавалась пружиной сжатия 9. Точность взаимного расположения испытуемых деталей выполнялась коническими соединениями с конусами Морзе. Подача масла в области

контакта тел производилась через штуцер под давлением 0,05 МПа.

Контактная жесткость оценивалась по ширине канавки смятия и ее глубине, которая является косвенной характеристикой сближения контактирующих тел.

Микрогеометрические характеристики испытуемых поверхностей и характеристики канавки смятия определялись с помощью профилографа-профилометра модели 252, а твердость и микротвердость измерялась на твердомере HR-150А и микротвердомере ПМТ-3.

Эпиламирование образцов и деталей производилось в смазочной композиции 6СФК-180-05 с соблюдением следующей последовательности:

- промывка в ванне с моющим составом: тринитрифосфат – 150 г, каустическая сода – 15 г, дистиллированная вода – 1 л, время промывки 15...20 мин;
- полоскание в дистиллированной воде в течение 10...15 мин;
- обезжиривание в спирте;
- погружение в смазочную композицию на 8...10 мин;
- сушка на воздухе при температуре 18...20 °С;
- термофиксация при температуре 120 °С в термошкафе в течение полутора часов.

Свойство поверхности удерживать смазку после шлифования и шлифования+эпиламирование оценивалось по массе масла, оставшегося на поверхности образцов после его погружения на одну минуту в смазочную среду и выдерживания на воздухе в течение 30 минут. Взвешивание образцов осуществлялось на аналитических весах ВСЛ-60/0,1А.

Влияние постоянных систематических погрешностей исключалось настройкой и калибровкой испытательного оборудования и средств измерений, а неисключенные систематические и случайные погрешности оценивались статистически повторением числа опытов и единичных наблюдений. В частности, для определения износостойкости и контактной жесткости были проведены опыты с пятью повторениями.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования износостойкости сырых образцов в условиях трения скольжения, представленные

графиками (рис. 2), свидетельствуют о том, что поверхности, прошедшие комбинированную обработку (шлифование+эпиламирование), имеют более высокие эксплуатационные свойства по сравнению со шлифованными как на этапе приработки, так и при установившемся износе. Образцы, изготовленные по технологии закалка ТВЧ + шлифование + эпиламирование, также продемонстрировали большую износостойкость по сравнению с закаленными и шлифованными, но при этом интегральный износ оказался меньшим, чем у сырых.

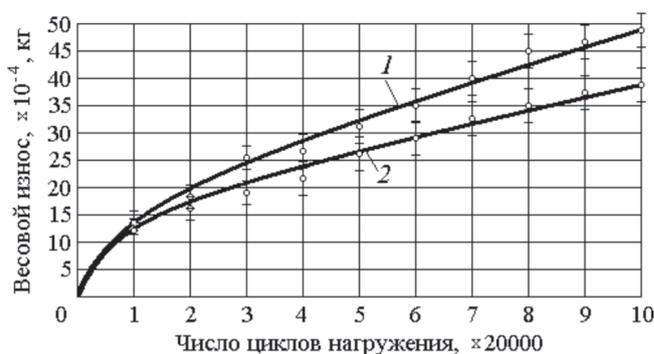


Рис. 2. Износ образцов после различных видов обработок:

1 – шлифование; 2 – шлифование + эпиламирование

Результаты испытаний на контактную жесткость представлены на рис. 3 и 4 зависимостями параметров остаточного следа шаров (ширины и глубины канавки смятия) от продолжительности работы регулятора.

Как видно из графиков, эпиламирование приводит к уменьшению ширины и глубины канавки смятия по сравнению с этими же параметрами канавки, полученной на шлифованной поверхности. Качественно такие же зависимости были

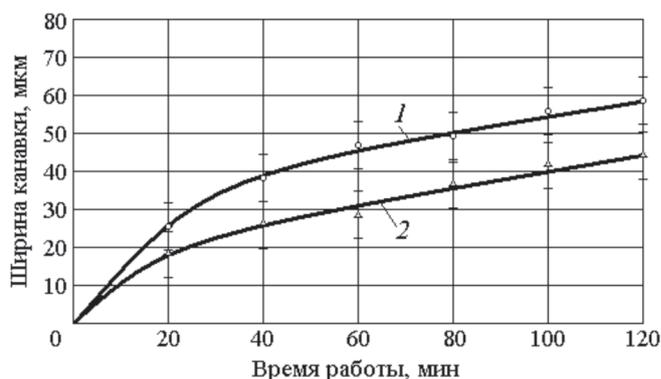


Рис. 3. Зависимость ширины канавки смятия на диске упора от времени испытаний:

1 – шлифование; 2 – шлифование + эпиламирование

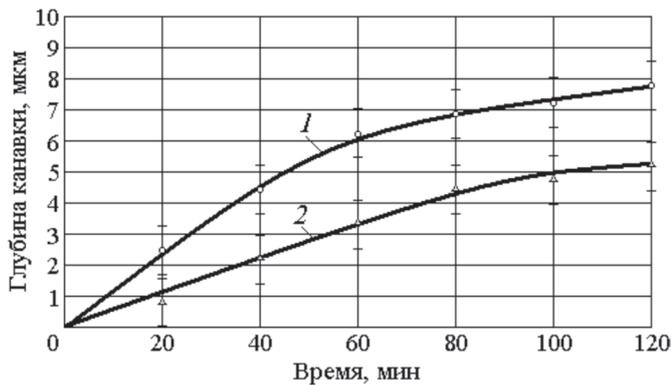


Рис. 4. Зависимость глубины канавки на диске упора от времени испытаний:

1 – шлифование; 2 – шлифование + эпиламирование

получены и для ответной детали – тарелки регулятора.

Для выяснения причин влияния эпиламирования на изучаемые эксплуатационные свойства были исследованы микрогеометрические и физико-механические характеристики поверхностного слоя, в частности, шероховатость (R_a) и микротвердость (H_c) до и после эпиламирования, а также маслоудерживающие свойства этих поверхностей. Результаты этих исследований представлены в таблице.

Характеристики и свойства поверхностей

Параметры	Методы обработки	
	Шлифование	Шлифование + эпиламирование
R_a , мкм	0,30...0,65	0,30...0,65
H_c (сырые)	380...410	380...410
H_c (закаленные)	600...650	600...650
Маслоудержание, %	100	115...122
Износ, %	100	45...60

Анализ таблицы показывает, что эпиламирование не изменяет шероховатость и микротвердость, но увеличивает маслоудерживающие свойства поверхности. Опираясь только физико-механическими и микрогеометрическими характеристиками, невозможно объяснить повышение износостойкости и контактной жесткости деталей после эпиламирования. Существенное различие в маслоудерживающих свойствах позволяет предположить, что этот фактор является определяющим в изменении эксплуатационных свойств, в частности, износостойкости и контактной жесткости. Это предположение не противоречит гипотезе, изложенной в работах [18,

19], которая говорит о том, что свободные концы молекулы эпиламы образуют водородные связи с молекулами масла, которые располагаются вдоль поверхности металла перпендикулярно эпиламам. При этом толщина и прочность пленки масла увеличиваются, улучшается ее удержание и резко снижается испарение масла. Улучшение условий смазывания, как известно [10, 20], снижает трение и контактные напряжения и приводит к повышению износостойкости и контактной жесткости деталей.

Выводы

1. Эпиламы повышают износостойкость и контактную жесткость деталей, работающих в условиях трения скольжения и циклического нагружения. Процессу эпиламирования присущи простота технологии, низкая себестоимость и экологичность. Совокупность всех факторов обуславливает перспективность применения эпиламирования для деталей транспортного машиностроения.

2. Эпиламирование не вызывает изменений микротвердости и шероховатости поверхности, но повышает ее маслоудерживающие свойства. Это позволяет предположить, что данное свойство является определяющим в повышении износостойкости и контактной жесткости.

3. Невыясненные до конца механизмы влияния наноразмерных пленок эпилам на повышение эксплуатационных свойств вызывают необходимость дальнейших исследований этого вопроса.

Список литературы

1. *Semenov A.P.* The role of epilames in tribology // Journal of Friction and Wear. – 2010. – Vol. 31, iss. 6. – P. 469–480. – doi: 10.3103/S1068366610060103.
2. Tribological properties of thin coatings based on epilams modified by nanosized silica / A.I. Sviridenok, A.V. Krautsevich, S.I. Mikulich, M.I. Ihnatouski, V.I. Lysenko, S.P. Bardachanov // Journal of Friction and Wear. – 2014. – Vol. 35, iss. 3. – P. 161–169. – doi: 10.3103/S1068366614030143.
3. *Мурманский Б.Е.* Повышение надежности работы систем парораспределения турбин в условиях

эксплуатации // Энергосбережение и водоподготовка. – 2015. – № 1 (93). – С. 10–12.

4. Improving the plasticity of thin cold-rolled steel sheet for cold stamping / I.V. Doshchechkina, S.S. D'yachenko, I.V. Ponomarenko, I.S. Tatarkina // Steel in Translation. – 2016. – Vol. 46, iss. 5. – P. 364–367. – doi: 10.3103/S0967091216050053.

5. *Вохидов А.С., Мальков М.В., Долганов В.Ю.* Методы повышения износостойкости и ресурсосбережение за счет применения эпиламирующих составов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 1. – С. 9–12.

6. Повышение износостойкости направляющих элементов штамповой оснастки методом эпиламирования / А.Я. Мовшович, Е.С. Дерябкина, М.Г. Ищенко, М.Е. Федосеева // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 4 (33). – С. 232–236.

7. *Фисенко П.П., Ищенко С.А., Иншаков С.В.* Применение эпиламированных куттерных ножей в мясopерерабатывающей промышленности // Мясная индустрия. – 2012. – № 11. – С. 34–35.

8. *Morozov A.V.* Experimental estimate of tribological characteristics of epilam-coated materials that operate in threaded joints under dry friction // Journal of Friction and Wear. – 2014. – Vol. 35, iss. 3. – P. 170–176. – doi: 10.3103/S106836661403009X.

9. Влияние эпиламирования на интенсивность изнашивания куттерных ножей / П.П. Фисенко, С.А. Ищенко, С.В. Иншаков, В.И. Балабанов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 6. – С. 27–29.

10. *Киричек А.В., Звягина Е.А.* Исследование влияния метода эпиламирования на повышение периода стойкости осевого инструмента // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2007. – № 1. – С. 30–36.

11. Эпиламирование поверхности и износостойкость пар трения / А.Т. Саримова, И.В. Буторин, Г.Д. Нурлыева, А.И. Швеев, Л.Н. Шафигуллин, М.И. Гумеров // Автомобильная промышленность. – 2015. – № 2. – С. 36–37.

12. Повышение износостойкости деталей плунжерных пар дизелей методом эпиламирования /

Е.С. Дерябкина, Ю.А. Черная, А.Я. Мовшович, О.В. Бондарь // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сборник научных трудов / Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». – Харьков, 2012. – Вып. 55. – С. 73–78.

13. *Киричек А.В., Селеменев М.Ф.* Нанопленки эпиламов как средство повышения эффективности технологий механической обработки и периода стойкости инструмента // Наноинженерия. – 2012. – № 5. – С. 7–14.

14. Экономическая эффективность от внедрения эпиламирования куттерных ножей / С.А. Ищенко, П.П. Фисенко, С.В. Иншаков, В.И. Балабанов // Мясная индустрия. – 2014. – № 4. – С. 44–45.

15. *Дудан А.В., Гуца А.А.* Методы и средства трибомодифицирования поверхностей трения // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2015. – № 11. – С. 49–52.

16. Применение эпиламов в производстве авиационной техники на ОАО «КНААПО» / В.М. Бойко, А.И. Пекарш, Р.Ф. Крупский, Р.А. Физулаков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 4 (3). – С. 972–973.

17. *Бойко В.М., Физулаков Р.А.* Возможности применения нанопокровов на основе эпиламов для повышения функционального качества поверхности изделий // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – № 8. – С. 44–48.

18. *Вохидов А.С., Добровольский Л.О.* Эпиламирование: эффективный метод создания нанопленок // Наноиндустрия. – 2012. – Т. 34, № 4. – С. 32–35.

19. *Morozov A.V.* Experimental determination of static and dynamic coefficients of sliding friction of epilam-coated materials // Journal of Friction and Wear. – 2014. – Vol. 35, iss. 2. – P. 84–88. – doi: 10.3103/S1068366614020093.

20. *Дунаев А.В.* Триботехника процесса граничного смазывания // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2010. – № 2. – С. 26–29.

OBRAVOTKA METALLOV

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 1 (74), January – March 2017, Pages 13–19

Performance property of transport parts after epilamization

Gileta V.P., Ph.D (Engineering), Associate Professor, e-mail: v.gileta@corp.nstu.ru

Asanov V.B., Ph.D (Engineering), Associate Professor, e-mail: asanov@corp.nstu.ru

Beznedelnyy A.I., Ph.D (Engineering), Associate Professor, e-mail: beznedelnyy@corp.nstu.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The paper studied the influence of films formed by epilamination on the performance properties of the fuel pump parts. Durability and contact stiffness of the surfaces after grinding and grinding+ epilamination in the 6SFK-180-05 lubricant composition are compared. Wear of the steel 45 samples in the raw and heat-treated state are performed on the 2070 SMF-1 friction test machine using a “drive-block” scheme. The results indicate that the surface after combined treatment (grinding+ epilamination) has a higher wear resistance compared with ground, both during running-in stage and at steady-state wear.

Tests on contact stiffness of the ICE fuel pump parts (stop drive and control plates) performed in a special unit, simulating the operation of the regulator, shown that epilamination reduces the width and depth of the crushing grooves in comparison with the same parameters measured on the grinding surface. These parameters reduction is indicative of the contact surfaces with the epilam film coating stiffness increase.

To find out the cause of the epilamination effect on the studied performance properties, further microgeometric and physical and mechanical characteristics of the surface layer, in particular, the surface roughness (Ra) and microhardness (H μ) before and after epilamination and oil-retaining properties of these surfaces are investigated. Epilamination does not alter microhardness and roughness but increases oil-retention of the surface. In view of the immutability of microgeometric and physical and mechanical properties of the surface after epilamination, the increase in the wear resistance and the contact stiffness due to improved oil-retaining properties of the film coating surface are assumed.

Keywords

epilamination, epilam, vehicle parts, surface roughness, microhardness, performance properties, wear resistance, contact stiffness, oil-retaining properties.

DOI: 10.17212/1994-6309-2017-1-13-19

References

1. Semenov A.P. The role of epilames in tribology. *Journal of Friction and Wear*, 2010, vol. 31, iss. 6, pp. 469–480. doi: 10.3103/S1068366610060103
2. Sviridenok A.I., Krautsevich A.V., Mikulich S.I., Ihnatouski M.I., Lysenko V.I., Bardachanov S.P. Tribological properties of thin coatings based on epilams modified by nanosized silica. *Journal of Friction and Wear*, 2014, vol. 35, iss. 3, pp. 161–169. doi: 10.3103/S1068366614030143
3. Murmanskii B.E. Povyshenie nadezhnosti raboty sistem paroraspredeleniya turbin v usloviyakh ekspluatatsii [Increase of reliability of work of systems of steam distribution of turbines under operating conditions]. *Energosberzhenie i vodopodgotovka – Energy Saving and Water Treatment*, 2015, no. 1 (93), pp. 10–12.
4. Doshchekina I.V., D'yachenko S.S., Ponomarenko I.V., Tatarkina I.S. Improving the plasticity of thin cold-rolled steel sheet for cold stamping. *Steel in Translation*, 2016, vol. 46, iss. 5, pp. 364–367. doi: 10.3103/S0967091216050053
5. Vokhidov A.S., Malkov M.V., Dolganov V.J. Metody povysheniya iznosostoikosti i resursosberezhenie za schet primeneniya epilamiruyushchikh sostavov [Methods of endurance and resource saving heightening at use epilaminar mixtures]. *Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizmax – Friction & Lubrication in Machines and Mechanisms*, 2007, no. 1, pp. 9–12.
6. Movshovich A.Ya., Deryabkina E.S., Ishchenko M.G., Fedoseeva M.E. Povyshenie iznosostoikosti napravlyayushchikh elementov shtampovoi osnastki metodom epilamirovaniya [Increasing of wear resistance of the guide elements of die by the of tooling method epilamirising]. *Obrabotka materialov davleniem – Material Working by Pressure*, 2012, no. 4 (33), pp. 232–236.
7. Fisenko P.P., Ischenko S.A., Inshakov S.V. Primenenie epilamirovannykh kutternykh nozhei v myasopererabatyvayushchei promyshlennosti [Use of epilamated cutter knives in the meat processing industry]. *Myasnaya industriya – Meat Industry*, 2012, no. 11, pp. 34–35.
8. Morozov A.V. Experimental estimate of tribological characteristics of epilam-coated materials that operate in threaded joints under dry friction. *Journal of Friction and Wear*, 2014, vol. 35, iss. 3, pp. 170–176. doi: 10.3103/S106836661403009X
9. Fisenko P.P., Ishchenko S.A., Inshakov S.V., Balabanov V.I. Vliyanie epilamirovaniya na intensivnost' iznashivaniya kutternykh nozhei [Impact of the epilamination on the wear rate of the cutter knives]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva – Mechanization and Electrification of Agriculture*, 2011, no. 6, pp. 27–29.

10. Kirichek A.V., Zvyagina E.A. Issledovanie vliyaniya metoda epilamirovaniya na povyshenie perioda stoikosti oseвого instrumenta [Research of influence of epilamirovaniye method on increase resistance of axled instrument]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya – Strengthening Technologies and Coatings*, 2007, no. 1, pp. 30–36.

11. Sarimova A.T., Butorin I.V., Nurlyeva G.D., Shveyov A.I., Shafigullin L.N., Gumerov M.I. Epilamirovanie poverkhnosti i iznosostoikost' par treniya [Study of surface wear epilamirovaniya friction pairs]. *Avtomobil'naya promyshlennost' – Automotive Industry*, 2015, no. 2, pp. 36–37.

12. Deryabkina E.S., Chernaya Yu.A., Movshovich A.Ya., Bondar' O.V. [Increasing of wear resisting property of diesel engine pump element parts by using epilamiration method]. *Otkrytye informatsionnye i komp'yuternye integrirovannye tekhnologii: sbornik nauchnykh trudov. Natsional'nyi aerokosmicheskii universitet im. N.E. Zhukovskogo “Khar'kovskii aviatsionnyi institut”* [Proceedings of the National Aerospace University named after NE Zhukovsky “Kharkiv Aviation Institute” “Public information and computer integrated technologies”], 2012, vol. 55, pp. 73–78. (In Russian)

13. Kirichek A.V., Selemenov M.F. Nanoplenki epilamov kak sredstvo povysheniya effektivnosti tekhnologii mekhanicheskoi obrabotki i perioda stoikosti instrumenta [Nanofilms of epilams as a means of improving the efficiency of technology machining and tool life period]. *Nanoinzheneriya – Nano Engineering*, 2012, no. 5, pp. 7–14.

14. Ischenko S.A., Fisenko P.P., Inshakov S.V., Balabanov V.I. Ekonomicheskaya effektivnost' ot vnedreniya epilamirovaniya kutternykh nozhei [Cost effectiveness of implementation of cutter knives epilamization]. *Myasnaya industriya – Meat Industry*, 2014, no. 4, pp. 44–45.

15. Dudan A.V., Hushcha A.A. Metody i sredstva tribomodifitsirovaniya poverkhnostei treniya [Methods and means tribomodifitsirovaniya friction]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Promyshlennost'. Prikladnye nauki – Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science*, 2015, no. 11, pp. 49–52.

16. Bojko V.M., Pekarsh A.I., Krupskiy R.F., Fizulakov R.A. Primenenie epilamov v proizvodstve aviatsionnoi tekhniki na OAO “KNAAPO” [Application epilams in manufacture of aeronautical engineering JSC KNAAPO]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk – Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2011, vol. 13, no. 4-3, pp. 972–973.

17. Bojko V.M., Fizulakov R.A. Vozmozhnosti primeneniya nanopokrytii na osnove epilamov dlya povysheniya funktsional'nogo kachestva poverkhnosti izdelii [Opportunities of application nanocoverings on the basis of epilams for increase of functional quality of a surface of products]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya – Strengthening Technologies and Coatings*, 2011, no. 8, pp. 44–48.

18. Vokhidov A.S., Dobrovol'skii L.O. Epilamirovanie: effektivnyi metod sozdaniya nanoplenok [Epilamation: an effective method of creating nanofilms]. *Nanoinzheneriya – Nano Engineering*, 2012, vol. 34, no. 4, pp. 32–35.

19. Morozov A.V. Experimental determination of static and dynamic coefficients of sliding friction of epilam-coated materials. *Journal of Friction and Wear*, 2014, vol. 35, iss. 2, pp. 84–88. doi: 10.3103/S1068366614020093

20. Dunayev A.V. Tribotekhnika protsessa granichnogo smazyvaniya [Tribotechnica of moist friction]. *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompanii – World of Oil Products. The Oil Companies' Bulletin*, 2010, no. 2, pp. 26–29.

Article history

Received 18 November 2016

Revised 23 December 2016

Accepted 17 January 2017