

1.7 times smaller than that of the commercial ones. Basing on the results the authors have concluded that couples with restored and reinforced slides feature higher performance characteristics than the commercial (serial) ones. This fact suggests the possibility of using the technology of chromium hexacarbonyl thermal decomposition for obtaining reinforcing chromium and chromium carbide coatings for restoring and manufacturing precision components of farm machinery hydraulic systems.

Key words: chrome coating, CVD-method, metal plating, chromium hexacarbonyl, chromium carbide, chromium carbide coatings.

References

1. Kozyrev V.V. Metalloorganicheskie soedineniya v mashinostroenii i remontnom proizvodstve: Monografiya [Organometallic compounds in engineering and repair production: Monograph]. Tver: Publisher Studio C, 2003. 160 p.
2. Syrkin V.G. Gazofaznaya metallizatsiya cherez karbonily [Gas-phase metallization with carbonyls]. M.: Metallurgiya [Metallurgy], 1985. 248 p.
3. Hugh O. Pierson. Handbook of Chemical Vapor Deposition, 1999.
4. Razuvayev G.A., Gribov B.G., Domrachev G.A. et al. Metalloorganicheskie soedineniya v elektronike [Organometallic compounds in electronics]. M.: Nauka, 1972. 479 p.
5. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Chupyatov N.N. Primenenie karbonil'nogo khroma dlya polucheniya uprochnyayushchikh pokrytiy na detalyakh sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Applying chromium carbonyl for hardening coating of agricultural machinery parts] // Proceedings of the International scientific-practical conference "Modern Problems of Applying New Machinery, Technologies, and Technical Service Organization in Agriculture". Minsk BSATU, 2014. Part 1. Pp. 275–278.
6. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Chupyatov N.N. Sposoby modifitsirovaniya poverkhnostey treniya detaley mashin: Monografiya [Methods of modifying friction surfaces of machine parts: Monograph]. M.: FSBEI HPE MSAU, 2014. 140 p.
7. The chemistry of metal CVD / ed. by Toivo Kodas and Mark Hampden-Smith. Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo: VCH, 1994.
8. Technical Conditions - TU 23.1.286-79. Specification for hydraulic valves P80 GOST 8754-80.
9. Cherkun V.Ye. Remont traktornykh gidravlicheskiykh sistem [Repair of tractor hydraulic systems]. M.: Kolos, 1984. 253 p.
10. Didur V.A., Yefremov V.Yu. Diagnostika i obespechenie nadyozhnosti gidroprivodov sel'skokhozyaystvennykh mashin [Diagnostics and ensuring reliability of agricultural machinery hydraulic drives]. Kiev: Tekhnika [Engineering], 1986. 128 p.

Received on April 29, 2016

УДК 631.3-049.7:620.3

БАЛАБАНОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: vbalabanov@timacad.ru

БОЙКОВ ВЛАДИСЛАВ ЮРЬЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент¹

E-mail: bvslava@mail.ru

БАЛАБАНОВА ТАТЬЯНА ВИКТОРОВНА²

E-mail: balabanovav88@gmail.com

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

² Российский государственный химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, Москва А-47, 125047, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Представили концепцию технического обслуживания и ремонта двигателей автотракторной техники без их разборки (концепция безразборного сервиса). Проанализировали химические составы и условия применения основных ремонтно-восстановительных составов для безразборного сервиса, в том числе созданных с использованием нанотехнологий; разработали методику их триботехнических и эксплуата-

ционных испытаний. Выявили, что металлоплакирующая ремонтно-восстановительная присадка «Renom Engine» обеспечивает максимальные антиизносные свойства по сравнению с другими исследуемыми присадками и позволяет снизить износ трущихся образцов по сравнению с базовым маслом Лукойл-Супер 10W40 в 8,59 раза. На основе эксплуатационных испытаний установили, что применение металлоорганической присадки «Renom Engine» позволяет повысить максимальное давление в конце такта сжатия (компрессию) в цилиндрах двигателя до номинальных значений, снизить содержание оксида углерода в отработавших газах до 3 раз, сэкономить до 10 процентов смазочного материала и топлива, а также обеспечить более легкий запуск и устойчивую работу двигателя. Доказали, что применение технологий безразборного сервиса позволяет значительно снизить общие затраты на поддержание техники в работоспособном состоянии.

Ключевые слова: ремонтно-восстановительные составы, металлоплакирующая присадка, нанотехнология, техническое обслуживание, восстановление, безразборный сервис автотракторной техники, триботехнические испытания, рентгеноспектральный анализ, эксплуатационные испытания.

Результатом многолетних исследований ученых-трибологов и практиков стал тот факт, что трение сейчас представляется и как созидательный процесс, что позволило разработать новые методы технического обслуживания машин, в том числе восстановление узлов и агрегатов техники, без их разборки и во время непрерывной работы [1–10].

Развивается новое научно-техническое направление – «Техническое обслуживание машин и механизмов без их разборки» (безразборный сервис). Оно представляет собой комплекс технических и технологических мероприятий, направленных на проведение операций технического обслуживания и ремонта узлов и механизмов без проведения операции по их разборке в процессе непрерывающейся эксплуатации. Это могут быть операции приработки, диагностики, профилактики, автохимического тюнинга, очистки и восстановления как отдельных трения соединений и частей, так и машин и механизмов в целом [1–10].

Цель исследований – анализ методов и средств технического обслуживания и ремонта двигателей автотракторной техники без их разборки; подбор химических составов и условий применения основных ремонтно-восстановительных составов для безразборного сервиса.

По компонентному составу, физическим и химическим процессам взаимодействия с трущимися поверхностями, свойствам получаемых покрытий (защитных пленок), а также особенностям механизма функционирования во время дальнейшей эксплуатации все ремонтно-восстановительные составы (присадки и добавки) можно разделить на три основные группы: металлоорганические (металлоплакирующие) соединения (remetallisants), полимерные составы и геомодификаторы.

Применение нанотехнологий позволило создать такие химические структуры, которые запрограммированы на удаление загрязнений, антифрикционную защиту, а также на самовосстановление нано- и микродефектов трущихся поверхностей [11–12].

Отдельным классом составов являются герметики систем (масляная система, система охлаждения и др.) двигателей внутреннего сгорания, способные путем добавления в технологические среды (мас-

ло, охлаждающая жидкость) устранить небольшие течи и обеспечить герметичность систем. Качество таких составов определяется не только качеством и временем устранения течей, но и способностью не блокировать (забивать) каналы или трубопроводы восстанавливающих систем [13].

В классическом понимании процесс восстановления деталей или соединений означает проведение технических и технологических мероприятий, направленных на приведение их геометрических размеров до номинальных или ремонтных значений, либо доведение их работоспособности до нормативных показателей. Однако проведение восстановительно-ремонтных мероприятий имеет смысл даже в том случае, когда достигается только частичное выполнение этих требований.

Применение ремонтно-восстановительных составов определяется техническим состоянием автомобиля или трактора. Таким образом, необходимость применения той или иной технологии или состава определяется на основании результатов технической диагностики. По результатам диагностики назначаются или профилактические препараты «мягкого» действия, или препараты, обеспечивающие более интенсивное влияние на процессы трения деталей соединений и агрегатов автомобиля или трактора.

Использование ремонтно-эксплуатационных составов и технологий безразборного сервиса позволяет практически полностью устранить параметрические отказы техники, а также повысить ее надежность и экономичность.

В статье представлены некоторые результаты эксплуатационных и трибологических испытаний эффективности металлоплакирующей присадки «Renom Engine», представляющей собой комплекс полностью растворимых в масле компонентов на основе органических жирных кислот, солей пластичных металлов (медь, железо и олово), а также ряд других компонентов [14].

Материалы и методы. Сравнительные триботехнические испытания различных ремонтно-восстановительных составов к смазочным испытаниям проводились в трибологической лаборатории кафедры «Технологии и машины в растениеводстве»

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на модернизированной машине трения Timken-Mashine. Схема

установки машины трения Timken-Mashine представлен на рисунке 1.

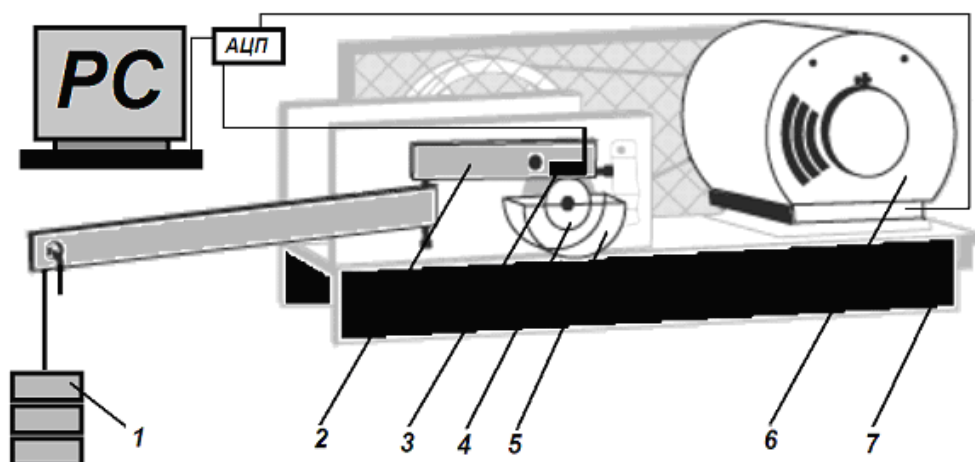


Рис. 1. Схема машины трения Timken-Mashine: 1 – грузы; 2 – нагрузочный механизм; 3 – верхний роликовый образец с термодатчиком; 4 – нижний кольцевой образец; 5 – кювета для смазочного материала; 6 – электродвигатель; 7 – станина; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; PC – персональный компьютер с программным обеспечением

Принцип работы машины трения Timken-Mashine основан на реализации вращательного движения по схеме «Кольцо-ролик» и трения верхнего роликового образца 3 по нижнему кольцевому образцу 4.

Общий вид и эскизы образцов представлены на рисунках 2, 3.

В качестве нижнего дискового образца использовались наружные кольца конического подшипника тип 7202 ГОСТ 520, а в качестве верхнего образца – подшипниковые ролики диаметром 8 мм, изготовленные из шарикоподшипниковой стали ШХ15 ГОСТ 801–78.

Состав исследуемых смазочных композиций представлен в таблице. В качестве базы сравнения взяты результаты испытаний этих же конструкци-

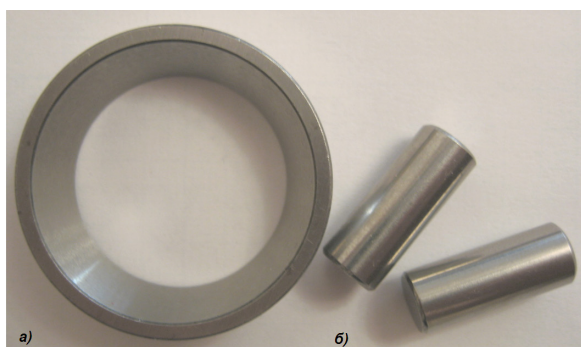


Рис. 2. Общий вид образцов для триботехнических испытаний на машине трения Timken-Mashine: а – нижний кольцевой; б – верхний роликовый

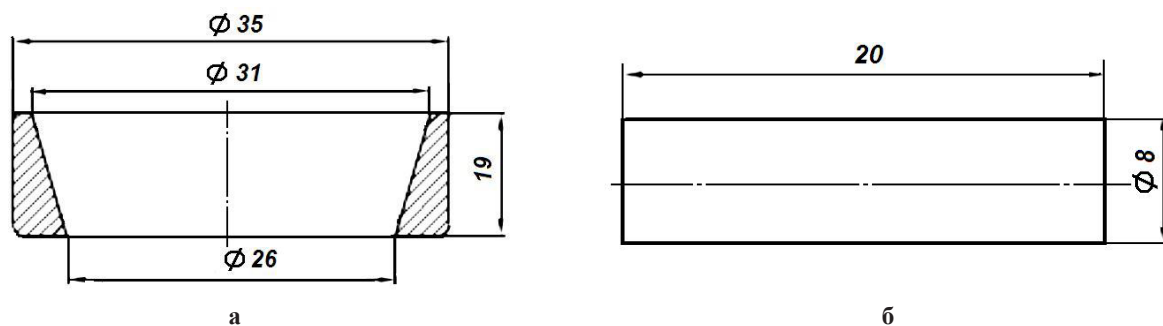


Рис. 3. Эскизы образцов к машине трения Timken-Mashine: а – нижний кольцевой; б – верхний роликовый

Состав исследуемых смазочных композиций [1–10]

Наименование	Производитель	Тип	Содержание, % вес.
Лукойл-Супер 10W40	ЗАО «Лукойл»	Базовое масло	0,0
Resurs	Фирма «ВМПАвто»	Реметаллизант	5,0
Motor Healer	ЗАО «Fine Metal Powders»	Реметаллизант	5,0
Ретурн Металл	РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева	Реметаллизант	5,0
Валена	Кусковский завод консистентных смазок	Реметаллизант	0,6
МКФ-18НТ	Фирма «Триботехнология»	Реметаллизант	5,0
«Кремнезем»	ФГБНУ ГОСНИТИ	Геомодификатор	1,0
«Бемит»	ФГБНУ ГОСНИТИ	Геомодификатор	1,0
DLCf	Фирма «Триботехнология»	Геомодификатор	1,0
Forsan nanoceramics	Фирма Forsan	Геомодификатор	3,0
XADO Engine	Концерн XADO	Геомодификатор	3,0
GTM	Фирма «Vico»	Геомодификатор	1,0
Renom Engine	Фирма «Автохимпроект»	Комплексный	5,0

онных материалов при смазывании моторным маслом Лукойл-Супер 10W40.

Физико-химические исследования проводились с использованием ОЖЕ-спектрометра марки РН1-590/550 фирмы «Perkin Elmer» в Научно-исследовательском институте общей физики имени Ф.В. Лукина. Были проведены исследования пиков ОЖЕ-спектров поверхностей трения для обнаружения меди в поверхностных слоях с последовательным удалением (бомбардировка аргоном) верхних слоев на глубину до 0,1 мкм [14].

На основании результатов лабораторных триботехнических исследований, выявивших высокую эффективность ремонтно-восстановительной присадки «Renom Engine», проведены её эксплуатационные испытания в ООО «Московский конезавод № 1» Одинцовского района Московской области, в качестве добавки в моторное масло двигателя Д-242 трактора МТЗ-82 (Беларусь).

Перед заменой масла при общей наработке трактора, равной 8 951 мото-ч, было замерено максимальное давление в конце такта сжатия (средняя компрессия) в цилиндрах двигателя, а также оценен средний расход топлива с применением навигационной системы ГЛОНАСС.

Трактор был направлен в эксплуатацию на транспортные работы по перевозке кормов и других сыпучих материалов по одному и тому же маршруту.

Повторные аналогичные испытаний проведены после эксплуатации трактора на присадке «Renom Engine» и общей наработке 8 972 мото-ч,

что составляет наработку на испытания, равную 21 мото-ч.

Результаты и обсуждение. Результаты лабораторных триботехнических испытаний представлены на рисунке 4.

Установлено, что ремонтно-восстановительная присадка «Renom Engine» обеспечивает максимальные антиизносные свойства по сравнению с другими исследуемыми присадками и позволяет снизить износ трущихся образцов по сравнению с базой.

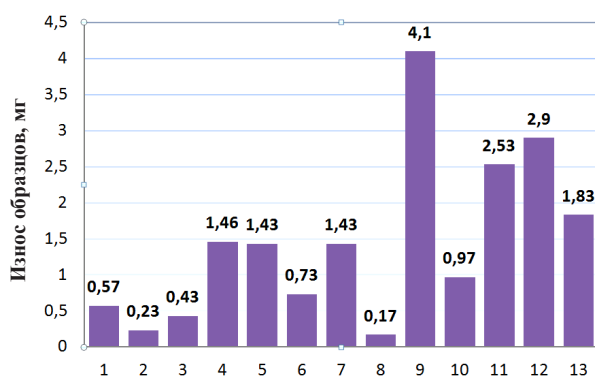


Рис. 4. Износ образцов при триботехнических испытаниях различных смазочных композиций: 1 – Resurs; 2 – Motor Healer; 3 – Ретурн Металл; 4 – Лукойл-Супер 10W40 (база); 5 – Валена; 6 – «Кремнезем»; 7 – «Бемит»; 8 – Renom Engine; 9 – DLCf; 10 – МКФ-18НТ; 11 – Forsan nanoceramics; 12 – XADO Engine; 13 – GTM

нению с базовым маслом Лукойл-Супер 10W40 в 8,59 раза.

Рентгеноспектральные физико-химические исследования поверхностей трения показали, что

применение присадки «Renom Engine» обеспечивает образование на поверхностях трения нанометровой пленки, содержащей медь (рис. 5) [14].

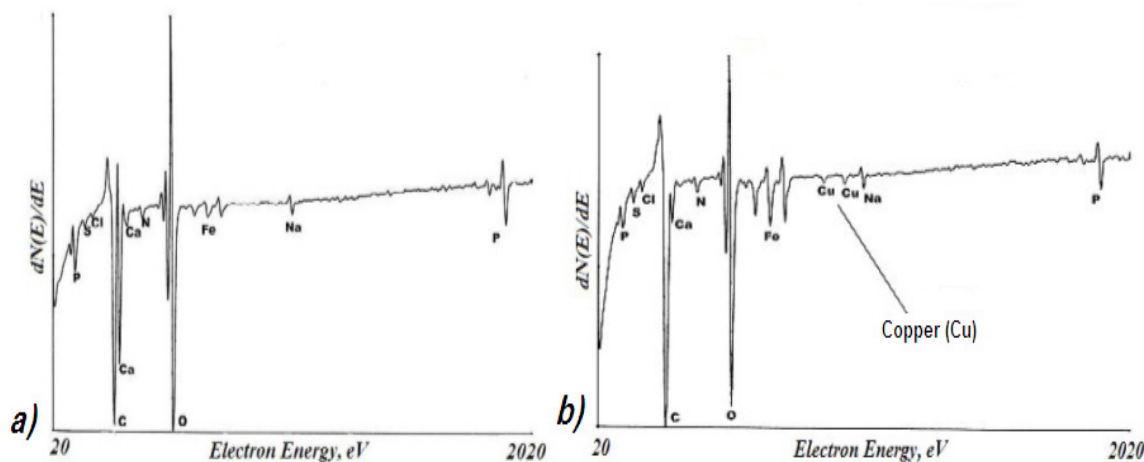
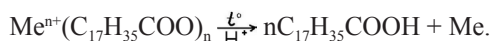


Рис. 5. Результаты рентгеноспектрального анализа поверхностей трения: чистого моторного масла (а); моторного масла с металлоорганической присадкой «Renom Engine» (б) [14]

Формирование медьсодержащей сервоитной пленки происходит за счет протекания химических реакций восстановления металлов (меди, олова и железа) из олеатов этих металлов в процессе трения под действием высоких температур и давлений в зоне контакта трущихся поверхностей друг с другом:



На основе физических и химических исследований установлено, что восстановленные из присадки пластичные металлы способны частично восстановить микродефекты трущихся поверхностей посредством формирования на них защитной медьсодержащей сервоитной пленки, характеризующейся двумя энергетическими всплесками меди на ОЖЕ-спектре исследуемых образцов трения.

Эксплуатационные испытания в условиях сельскохозяйственного предприятия показали следующие основные результаты.

1. Максимальное давление в конце такта сжатия (средняя компрессия) в цилиндрах двигателя Д-242 трактора МТЗ-82 составляет:

- до применений присадки «Renom Engine» – 2,1 МПа;
- после применений присадки «Renom Engine» – 2,3 МПа.

2. Расход топлива на транспортный перегон составляет:

- до применений присадки «Renom Engine» – 40 л на 100 км;
- после применений присадки «Renom Engine» – 37 л на 100 км.

За период применения отказов смазываемых узлов трактора не наблюдалось.

На основании результатов приёмочных испытаний комиссия установила, что применение ремонтно-восстановительной присадки «Renom Engine» при эксплуатации трактора МТЗ-82 обеспечивает:

1. Повышение максимального давления в конце такта сжатия (средней компрессии) в цилиндрах двигателя на 9,52%.
2. Снижение среднего расхода топлива на транспортный перегон на 8,1%.

Необходимо продолжить испытания ремонтно-восстановительной присадки «Renom Engine» с расширением парка испытуемых тракторов и достижением большей наработки.

Выводы

1. Исследования самоорганизации, диссипации энергии, аномально низкого трения, эффекта Ребиндера и «эффекта безызносности Гаркунова» в соединениях машин и механизмов технических систем, которые являются краеугольными камнями синергетики, позволили разработать концепцию «безразборного технического сервиса автотракторной техники во время их непрерывной эксплуатации».

2. Результаты триботехнических испытаний металлоорганической присадки «Renom Engine» вывели её высокую эффективность в применении в качестве ремонтно-восстановительного средства для восстановления работоспособности двигателей автомобильной и автотракторной техники.

3. Формирование устойчивой сервовитной пленки – достаточно продолжительный процесс, поэтому наблюдается не резкое, а постепенное улучшение технических показателей двигателя: таких, как мощность, расход топлива, содержание вредных выбросов в отработавших газах и др. При этом максимальные показатели достигают после пробега автомобиля около 1500 км или наработки двигателя трактора более 10 моточасов и сохраняются до различное время в зависимости от начального технического состояния автомобиля или трактора.

4. На основе эксплуатационных испытаний установлено, что применение металлоорганической присадки «Renom Engine» позволяет повысить максимальное давление в конце такта сжатия (компрессию) в цилиндрах двигателя до номинальных значений, снизить содержание оксида углерода в отработавших газах до 3 раз, сэкономить до 10% смазочного материала и топлива, а также обеспечить более легкий запуск и устойчивую работу двигателя.

5. Применение технологий «безразборного сервиса» позволяет значительно повысить износостойкость трущихся соединений, существенно снизить экономические затраты на ее эксплуатацию и ремонт. Результаты эксплуатации автомобильной и автотракторной техники в реальных условиях предприятий, а также отзывы многих частных автомобилистов указывают, что применение технологий безразборного сервиса позволяет значительно снизить общие затраты на поддержание техники в работоспособном состоянии.

Библиографический список

1. Гаркунов Д.Н. Износ и безызносность. М.: Машиностроение, 2001. 616 с.
2. Balabanov V.I. Reconditioning of moving joints of machines and mechanisms in assembly through depositing of nonferrous metal coating. *Metal Science and Heat Treatment*. 2001. Т. 43. № 7–8. С. 288–289.
3. Балабанов В.И. Повышение долговечности двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники реализацией избирательного переноса при трении: Дис. ...докт. техн. наук. М.: МГАУ имени В.П. Горячкина, 1999. 516 с.
4. Balabanov V.I., Ishchenko S.A. Restoration of a working condition of the engine without its

disassembly: BALTRIB 2007 International Scientific Conference, Proceedings International Scientific Conference, Vizerana. Kaunas, 2007. С. 72–76.

5. Balabanov V.I. Improving of motor and tractor's reliability by the use of metalorganic lubricant additives / Friction and wear research. 2014. Vol. 2. Pp. 17–21.

6. Балабанов В.И., Беклемышев В.И., Махонин И.И., Филиппов В.К. Ремонтно-восстановительные препараты для техники // *Сельский механизатор*. М., 2005. № 11. С. 40–41.

7. Балабанов В.И. Методы безразборного восстановления автомобильной техники / В.И. Балабанов, Г.К. Потапов // *Диагностика, надежность и ремонт машин: Сборник научных трудов МГАУ*. М., 1995. С. 92–97.

8. Балабанов В.И. Повышение качества отремонтированных двигателей внутреннего сгорания путем реализации избирательного переноса при трении // *Вестник машиностроения*. 2001. № 8. С. 14–19.

9. Синельников А.Ф., Балабанов В.И. Автомобильные масла, топлива и технологические жидкости / А.Ф. Синельников, В.И. Балабанов. Сер. «Краткий справочник». М.: «За рулем», 2007. С. 155–172.

10. Балабанов В.И., Болгов В.Ю. Автомобильные присадки и добавки. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011.

11. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе: Научн. аналитический обзор / В.Ф. Федоренко, М.Н. Ерохин, В.И. Балабанов и др. М.: Росинформагротех, 2011. 312 с.

12. Бойков В.Ю., Балабанов В.И., Ахметзянов А.Ф. Применение наноматериалов в безразборном техническом сервисе автотракторной техники // *Техника и оборудование для села*. № 1. 2016. С. 38–41.

13. Бойков В.Ю., Балабанов В.И., Ахметзянов А.Ф. Сравнительные экспериментальные исследования герметиков системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания // *Труды ГОСНИТИ*. 2015. Т. 120. С. 148–152.

14. Беклемышев В.И., Махонин И.И., Летов А.Ф., Филиппов В.К., Балабанов В.И. Влияние металлоорганических присадок RENOM на поверхности трения и показатели автомобильной техники // *Вестник машиностроения*. 2004. № 10. С. 51–55.

Статья поступила 9.03.2016

ANALYZING REPAIR AND RECONSTRUCTIVE COMPOSITES FOR AUTOMOTIVE AND TRACTOR MASHINERY

VIKTOR I. BALABANOV, DSc (Eng), Professor¹

E-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru

VLADISLAV Yu. BOYKOV, PhD (Eng), Associate Professor¹

E-mail: bvslava@mail.ru

TATIANA V. BALABANOVA²

E-mail: balabanovtv88@gmail.com

¹ Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

² Russian State Chemical and Technology University named after D.I. Mendeleev, Miusskaya pl., 9, Moscow, 125047, Russian Federation

The paper presents the concept of maintenance and repair of automotive and tractor engines without disassembling (the concept of non-disassembling (in-place) service). The authors have analyzed chemical composites and conditions of applying the basic repair and reconstructive composites for non-disassembling (in-place) service, including those developed using nanotechnology; have elaborated the methodology of their tribo-technical and operational tests. The results have revealed that the repair and reconstructive additive "Renom Engine" ensures maximum wear-resistant properties as compared with other tested additives and reduces wear of rubbing samples compared with the base oil Lukoil-Super 10W40 in 8.59 times. Basing on performance testing the authors have found that the use of organometallic additive "Renom Engine" allows to increase the maximum pressure at the compression stroke end in the engine cylinders up to the nominal values, reduce the content of carbon monoxide in exhaust gases up to 3 times, save up to 10% of the lubricant and fuel, as well as provide easier starting and stable engine performance. It has also been proved that the use of non-disassembling (in-place) service technologies can significantly reduce the overall cost of working machinery maintenance.

Key words: repair and restoration compositions, metalplacking additive, nanotechnology, maintenance, restoration, non-disassembling (in-place) service of automotive machinery, tribological tests, X-ray spectral analysis, performance tests.

References

1. Garkunov D.N. Iznos i bezyznosnost' [Wear and wear resistance]. M.: Mashinostroenie [Machine Building], 2001. 616 p.
2. Balabanov V.I. Reconditioning of moving joints of machines and mechanisms in assembly through depositing of nonferrous metal coating. *Metal Science and Heat Treatment*. 2001. Vol. 43. № 7–8. Pp. 288–289.
3. Balabanov V.I. Povyshenie dolgovechnosti dvigateley vnutrennego sgoraniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki realizatsiye izbiratel'nogo perenosa pri trenii: Dis. ...dokt. tekhn. nauk [Increasing the durability of internal combustion engines for agricultural machinery using selective transfer in friction. DSc (Eng) thesis]. M.: MSAU, 1999. 516 p.
4. Balabanov V.I., Ishchenko S.A. Restoration of a working condition of the engine without its disassembly: BALTTTRIB 2007. International Scientific Conference, Proceedings of International Scientific Conference, Vizerana. Kaunas, 2007. Pp. 72–76.
5. Balabanov V.I. Improving motor and tractor's reliability by the use of metalorganic lubricant additives / *Friction and Wear Research*. 2014. Vol. 2. Pp. 17–21.
6. Balabanov V.I., Beklemyshev V.I., Makhonin I.I., Filippov V.K. Remontno-vosstanovitel'nye preparaty dlya tekhniki [Repair and reconstructive means for machinery] // *Sel'skiy mekhanizator [Rural Mechanical Engineer]*. M., 2005. No 11. Pp. 40–41.
7. Balabanov V.I. Metody bezrazbornogo vosstanovleniya avtomobil'noy tekhniki [Methods of automotive machinery restoration without disassembling] / V.I. Balabanov, G.K. Potapov // *Diagnostics, Reliability and Repair of Machines: MSAU scientific papers*. M., 1995. Pp. 92–97.
8. Balabanov V.I. Povyshenie kachestva otremonirovannykh dvigateley vnutrennego sgoraniya putem realizatsii izbiratel'nogo perenosa pri trenii [Increasing the quality of refurbished internal combustion engines using selective transfer in friction] // *Vestnik mashinostroeniya [Engineering Herald]*, 2001. No 8. Pp. 14–19.
9. Sinelnikov A.F., Balabanov V.I. Avtomobil'nye masla, topliva i tekhnologicheskie zhidkosti [Automotive oils, fuels and process liquids] / A.F. Sinelnikov, V.I. Balabanov. Quick reference guide. M.: "Za Rulem [At the Wheel]", 2007. Pp. 155–172.
10. Balabanov V.I., Bolgov V.Yu. Avtomobil'nye prisadki i dobavki [Automotive additives and supplements]. M., RSAU-MAA named after K. A. Timiryazev, 2011.
11. Nanotekhnologii i nanomaterialy v agropromyshlennom komplekse: Nauchn. analiticheskiy obzor [Nanotechnologies and nanomaterials in agriculture: Scientific analytical review] / V.F. Fedorenko, M.N. Erokhin, V.I. Balabanov and others. M.: Rosinformagrotekh, 2011. 312 p.
12. Boikov V.Y., Balabanov V.I., Akhmetzyanov A.F. Primenenie nanomaterialov v bezrazbornom tekhnicheskome servise avtotraktornoy tekhniki [Use of nanomaterials in technical service of moto and tractor machinery without its dismantling] / *Farm Machinery and Equipment*. No 1. 2016. Pp. 38–41.

13. Boikov V.Y., Balabanov V.I., Akhmetzyanov A.F. Sravnitel'nye eksperimental'nye issledovaniya germetikov sistemy okhlazhdeniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Comparative experimental research of sealants of the internal combustion engine cooling system] / Proceedings of GOSNITI. 2015. 120. Pp. 148–152.

14. Beklemyshev V.I., Makhonin I.I., Letov A.F., Filippov V.K., Balabanov V.I. Vliyanie metalloorganicheskikh prisadok RENOM na poverkhnosti treniya i pokazateli avtomobil'noy tekhniki [Influence of RENOM organometallic additives on friction surfaces and automotive machinery indicators] // Vestnik mashinostroeniya [Engineering Herald]. 2004. No 10. Pp. 51–55.

Received on March 9, 2016

УДК 621.9.01

КРАВЧЕНКО ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

КОТЕЛЬНИКОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ, канд. техн. наук, профессор²

E-mail: nntu@nntu.nnov.ru

ДОБЫЧИН МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ¹

E-mail: mr.kep@yandex.ru

МАКАРОВ КИРИЛЛ ВЛАДИМИРОВИЧ¹

E-mail: makarov177@rambler.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

² Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева, ул. Минина, 24, Нижний Новгород, 603950, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПЛОТНОСТИ ДИСЛОКАЦИЙ В ДЕФОРМИРУЕМОМ ОБЪЕМЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛОВ

Проблема износостойкости тесно связана с исследованием процессов упрочнения и разрушения поверхностных слоёв металлов при их взаимодействии. Данная проблема может быть решена на основе изучения закономерностей изменения структур поверхностного слоя. Проблематичным является вопрос кинетики изнашивания и её взаимосвязи с процессами пластической деформации поверхностного слоя металлов. Статья посвящена установлению количественной взаимосвязи накапливаемой плотности дислокаций в деформируемом объеме поверхностного слоя стальной толстостенной втулки, обработанной выглаживанием холодным способом и резанием с нагревом. Провели теоретический анализ данной взаимосвязи, который базируется на основе физики твердого тела, в частности, на теории дислокаций, а также на ее инженерных приложениях. В зависимости от условий и вида обработки конструкционной и легированной стали получены различные значения плотности дислокаций в металле. Установленные закономерности взаимовлияния процессов пластической деформации поверхностного слоя металлов позволяют определить пути управления износостойкостью материалов. В результате экспериментальных исследований было установлено, что поверхность металла втулки, обработанной обычным холодным методом, оказалась покрыта видимыми раскрывшимися микротрещинами с углом наклона в сторону выглаживания. Поверхностный слой металла втулки, обработанной с нагревом, таких микротрещин не имеет. Наглядное сравнение полученных результатов исследования доказывает полное отсутствие микротрещин в поверхностном слое детали, обработанной резанием с нагревом. При этом можно предположить, что полученный таким образом поверхностный слой будет работать в любом скользящем соединении в два-три раза дольше, чем