

УДК 621.856.8

Функциональные технологические смазочные материалы, структурированные нанопорошками цветных металлов, для повышения эффективности обработки деталей транспортных средств

Г. И. Шульга

(Южно-Российский государственный технический университет),

А. О. Колесниченко

(ООО «Производственная компания „Новочеркасский электровозостроительный завод“»),

Е. В. Скринников

(Южно-Российский государственный технический университет),

Т. Г. Шульга

(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Встраивание во фрактальные кластеры функциональных водорастворимых технологических смазочных материалов (ФВТСМ) нанопорошка цинка улучшают их смазочные свойства и повышают эффективность штамповки и вытяжки листовых сталей при изготовлении кузовных деталей транспортных средств.

Ключевые слова: функциональный смазочный материал, фрактальный кластер, нанопорошок, наноструктурирование, синергетика, наноплёнка, штамповка, вытяжка.

Введение. Тенденциями развития современного транспортного комплекса в области механической обработки является создание наноструктурированных функциональных (адаптирующихся) водорастворимых технологических смазочных материалов (ФВТСМ). Разработка таких материалов стала возможной вследствие развития нанотрибологии, наноидентифицирования, наноинженерии поверхности, синергетики, изучающей процессы устойчивости и распада диссипативных структур различной природы, формирования новой парадигмы управления смазочными свойствами технологических материалов наноструктурированием их фрактальной структуры [1–6].

Создание наноструктурированных ФВТСМ для механической обработки основывается на идеях фрактального материаловедения, базирующегося на принципах синергетики и теории фрактальной геометрии. Свойства функциональных смазочных материалов связывают с динамической структурой, самоорганизующейся в точках бифуркаций. Динамика трансформации структуры, потерявшей устойчивость, контролируется принципами синергетики, основным из которых является минимум производства энтропии. Система в состоянии неравновесности способна к выбору оптимальной структуры, необходимой для дальнейшего функционирования системы как целого [1].

Концепция разработки ФВТСМ основывается на следующих положениях: создание наноструктурированных фрактальных структур материалов с высоким уровнем неравновесности, формирование в трибосопряжениях фрактальных, гетерогенных, ламеллярных структур, обеспечивающих самоорганизацию и физико-химическое модифицирование контактирующих поверхностей трибосопряжений, а при попадании в окружающую среду (почвы, воду) встраивание компонентов ФВТСМ в пищевые цепи экосистем [2].

ФВТСМ рассматривается не как вещество с заданным химическим составом, а как интегральное понятие, объединяющее в себе вещество, технологию его изготовления, применение для повышения долговечности оборудования и инструмента, встраивание в пищевые цепи экосистем, утилизацию и возможность вторичного использования.

ФВТСМ могут эффективно использоваться в качестве концентратов и водных растворов для повышения долговечности штампового инструмента, улучшения качества обрабатываемых по-

верхностей кузовных деталей, получаемых листовой штамповкой, вытяжкой, а также при лезвийной, алмазно-абразивной обработке изделий из различных материалов транспортных систем.

Дисперсные порошки цветных металлов и их сплавов, в частности, меди, бронзы, цинка используют в качестве добавок к смазочным материалам для улучшения их триботехнических свойств.

Существенным недостатком нанопорошков таких металлов является их агрегатирование, сложности стабилизации и равномерного распределения в объёме смазочного материала. Наноструктурирование фрактальных кластеров ФВТСМ нанопорошками меди и бронзы и исследование их смазочного действия приведено в работе [3].

Целью работы является исследование влияния на триботехнические свойства наноструктурирования нанопорошками цветных металлов фрактальных кластеров функциональных технологических смазочных материалов.

Материалы и методики исследования. Электронно-микроскопические исследования структуры и поэлементного состава нанопорошков меди, бронзы, цинка проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Quanta 200 (FEI Company, Holland), ускоряющем напряжении 5...30 кВ, увеличении от 25 до 150 000. Рентгеновский анализ нанопорошков металлов проводили с использованием приставки энергодисперсионного анализа Genesis (EDAX Inc., USA) [4] в центре коллективного пользования ЮРГТУ (НПИ).

Испытания функциональных технологических смазочных материалов проводили на торцевой машине трения при испытании пары сталь 40Х — 08ЮСВ2А, частоте вращения верхнего испытуемого образца 40 мин⁻¹, ступенчатом увеличении удельного давления p от 0,05 до 1,0 МПа.

Время испытания на каждой ступени удельного давления составляло 6 мин. В качестве верхнего испытуемого образца использовали цилиндр из стали 40Х, наружным диаметром 24 мм, внутренним диаметром 16 мм и высотой 30 мм. Материал соответствовал штамповому инструменту. Нижний образец изготавливали из листовой стали 08ЮСВ2А диаметром 34 мм, толщиной 1 мм, он соответствовал материалу кузова легкового автомобиля. Контактное трение осуществлялось по торцу цилиндрического образца и поверхности круглого образца. Определение износов пары трения трибосопряжений производили весовым методом на аналитических весах ВЛР-200 (ГОСТ 24104-80).

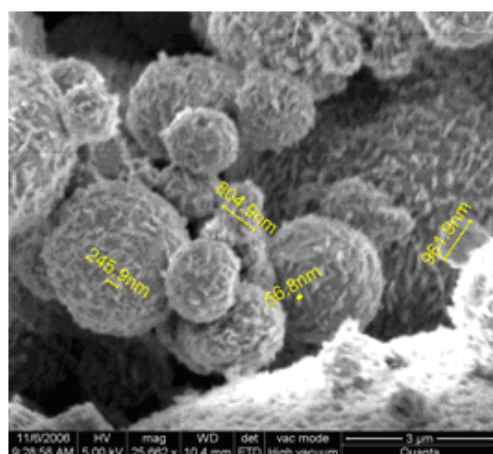
Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 1 приведены структура нанопорошков цинка, меди, бронзы и их поэлементный состав. Из рис. 1 следует, что данные нанопорошки представляют собой дисперсии в виде нанокластеров. Поэлементный состав нанопорошка цинка — 94,04 % цинка и 5,96 % кислорода; нанопорошка меди — 97,24 % меди и 2,76 % кислорода; нанопорошка бронзы — 88,13 % меди, 9,27 % олова и 2,6 % кислорода.

Предполагали, что наноструктурированием фрактальных кластеров нанопорошком цинка можно улучшить смазочные, противоизносные, антифрикционные, антикоррозионные свойства ФВТСМ. Проведены лабораторные сравнительные испытания разработанного смазочного материала РВ-ЗУМ, содержащего фрактальные лигандные кластеры и РВ-18, со встроенными во фрактальные лигандные кластеры нанопорошками цинка в количестве 1 % и 2 % (по массе), используемого при листовой вытяжке кузовных деталей легковых автомобилей.

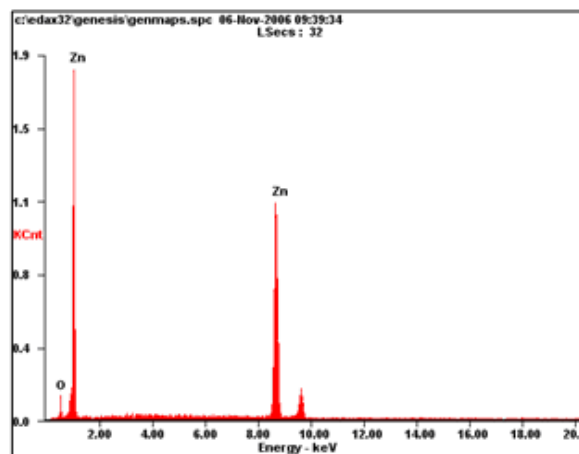
Смазочные свойства ФВТСМ РВ-ЗУМ, РВ-18 оценивали по величинам износа образцов, коэффициенту трения испытуемой пары при удельных давлениях 0,5; 1,0 МПа (кривые 1, 2, 3). Результаты испытаний приведены на рис. 2—4.

На рис. 2 приведена зависимость износа образца U_1 из стали 40Х от удельного давления p при смазывании 50-процентными водными растворами РВ-ЗУМ и РВ-18, содержащего 1 % и 2 % нанопорошков цинка, при трении пары сталь 40Х — сталь 08ЮСВ2А. При удельном давлении 0,5 МПа износы образца из стали 40Х составили, соответственно, $34 \cdot 10^{-5}$ г; $51 \cdot 10^{-5}$ г; $30 \cdot 10^{-5}$ г.

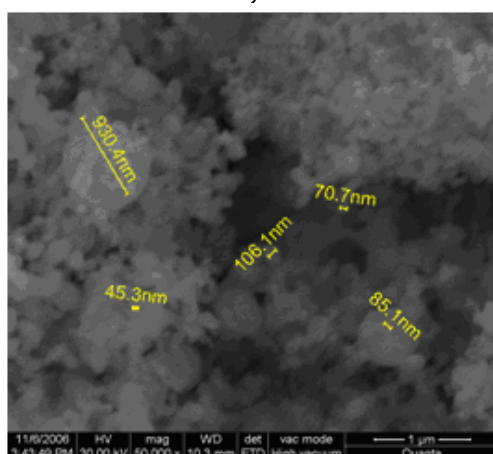
При удельном давлении 1,0 МПа износы образца из стали 40Х и смазывании этими же смазочными материалами составили, соответственно, $51 \cdot 10^{-5}$ г; $42 \cdot 10^{-5}$ г; $25 \cdot 10^{-5}$ г.



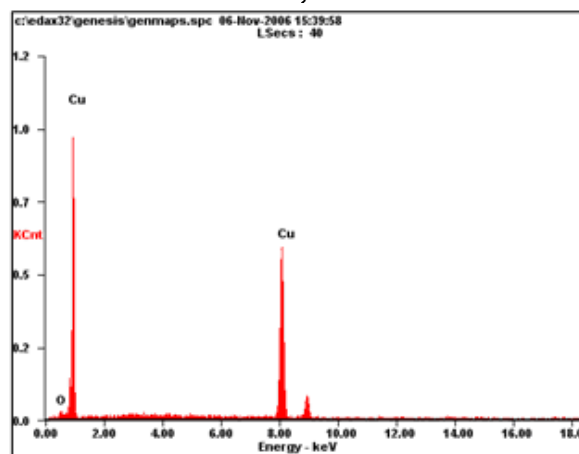
а)



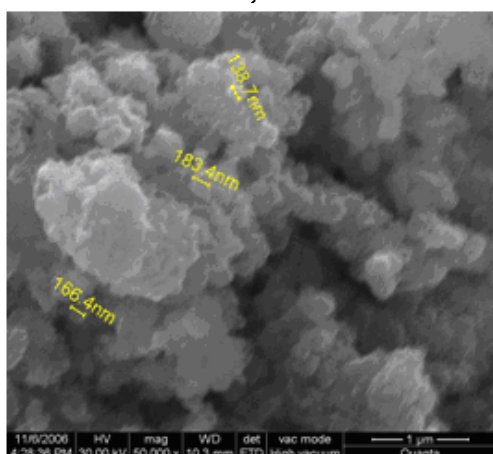
б)



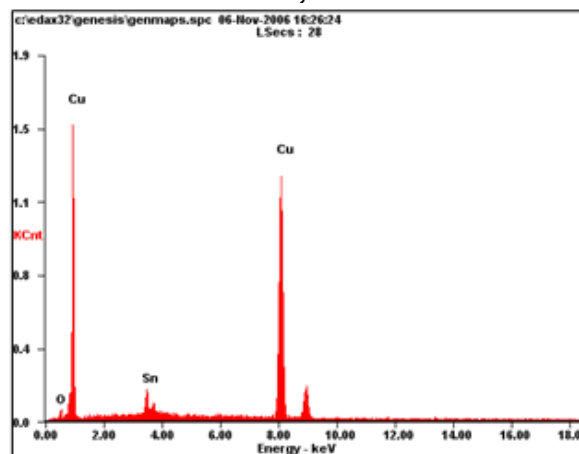
в)



г)



д)



е)

Рис. 1. Структура и поэлементный состав нанопорошков: а, б — цинка; в, г — меди; д, е — бронзы

На рис. 3 приведена зависимость износа образца U_2 из стали 08ЮОСВ2А от удельного давления p при смазывании 50-процентными водными растворами РВ-ЗУМ и РВ-18, содержащего 1 % и 2 % нанопорошков цинка, при трении пары сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А.

При удельном давлении 0,5 МПа износы образца из стали 08ЮОСВ2А составили, соответственно, $160 \cdot 10^{-5}$ г; $40 \cdot 10^{-5}$ г; $30 \cdot 10^{-5}$ г. При удельном давлении 1,0 МПа износы образца из стали 08ЮОСВ2А при смазывании этими же смазочными материалами составили, соответственно, $220 \cdot 10^{-5}$ г; $60 \cdot 10^{-5}$ г; $50 \cdot 10^{-5}$ г.

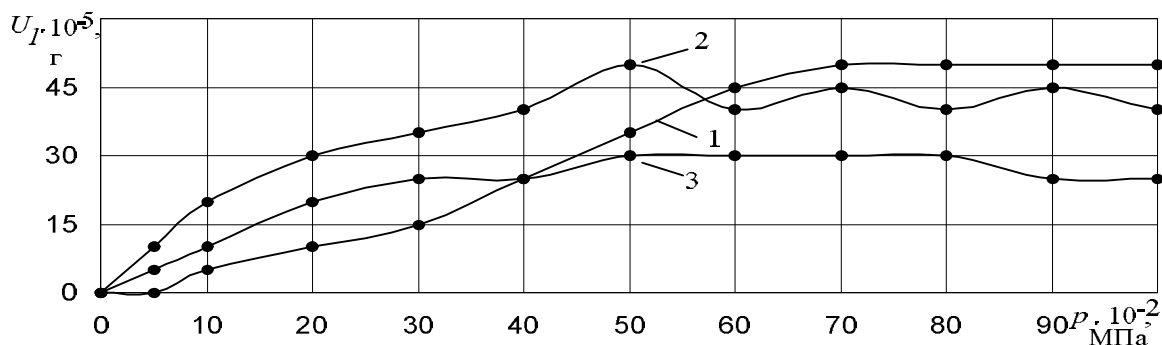


Рис. 2. Зависимость износа образца U_1 из стали 40Х от удельного давления p при смазывании пары трения сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А 50-процентными водными растворами смазочных материалов: 1 — РВ-ЗУМ; 2 — РВ-18 с 1 % нанопорошка цинка; 3 — РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка

На рис. 4 приведены зависимости, соответствующие изменению коэффициента трения при увеличении удельного давления p . Из рис. 3 следует, что при удельном давлении p , равном 0,5 МПа, при смазывании 50-процентными водными растворами РВ-ЗУМ и РВ-18, содержащего 1 % и 2 % нанопорошков цинка, при трении пары сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А коэффициенты граничного трения μ , соответственно, составляли 0,182; 0,165; 0,152.

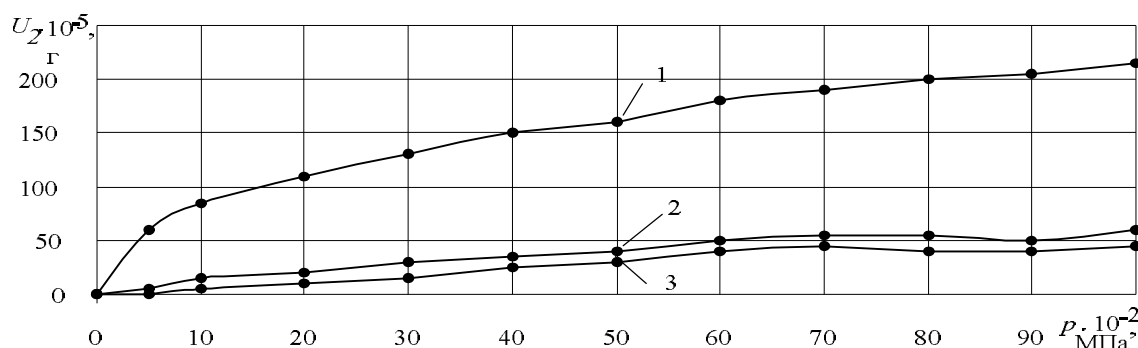


Рис. 3. Зависимость износа U_2 образца из стали 08ЮОСВ2А от удельного давления p при смазывании пары трения сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А 50-процентными водными растворами смазочных материалов: 1 — РВ-ЗУМ; 2 — РВ-18 с 1 % нанопорошка цинка; 3 — РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка

При удельном давлении $p = 1,0$ МПа, и смазывании 50-процентными водными растворами РВ-ЗУМ (кривая 1) коэффициент граничного трения μ был равен 0,17; при смазывании РВ-18 с 1 % нанопорошка цинка (кривая 2) $\mu = 0,16$; РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка (кривая 3) $\mu = 0,14$.

Антифрикционные свойства наноплёнок, образующихся при трении пары сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А при смазывании 50-процентными водными растворами смазочных материалов, исследовали на атомно-силовом микроскопе (АСМ) HV Solver методом боковых (латеральных) сил [3, 4]. На латеральные силы оказывает влияние не только трение, но и рельеф поверхности. На наклонных участках рельефа сила нормальной реакции образца имеет горизонтальную составляющую. Регистрируемые латеральные силы несут информацию о распределении силы трения и о рельефе поверхности. Чтобы отделить трибологический эффект от влияния топографии поверх-

ности, достаточно провести сканирование поверхности по одному и тому же месту в прямом и обратном направлении. Сила трения при этом меняет знак, а нормальная сила реакции образца остаётся прежней. Разность результатов первого и второго проходов даёт удвоенное значение силы трения. Для определения значения силы трения удвоенные значения делят пополам.

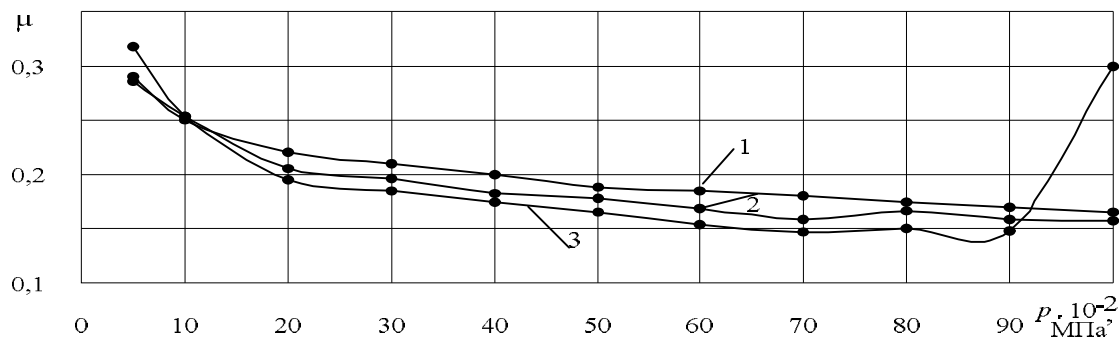


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения μ от удельного давления p пары трения сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А при смазывании 50-процентными водными растворами смазочных материалов: 1 — РВ-ЗУМ; 2 — РВ-18 с 1 % нанопорошка цинка; 3 — РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка

На рис. 5 показаны исследования наноплёнки, генерируемой на поверхности образца из стали 08ЮОСВ2А при смазывании 50-процентным водным раствором смазочного материала РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка при удельном давлении 1,6 МПа, методом латеральных сил.

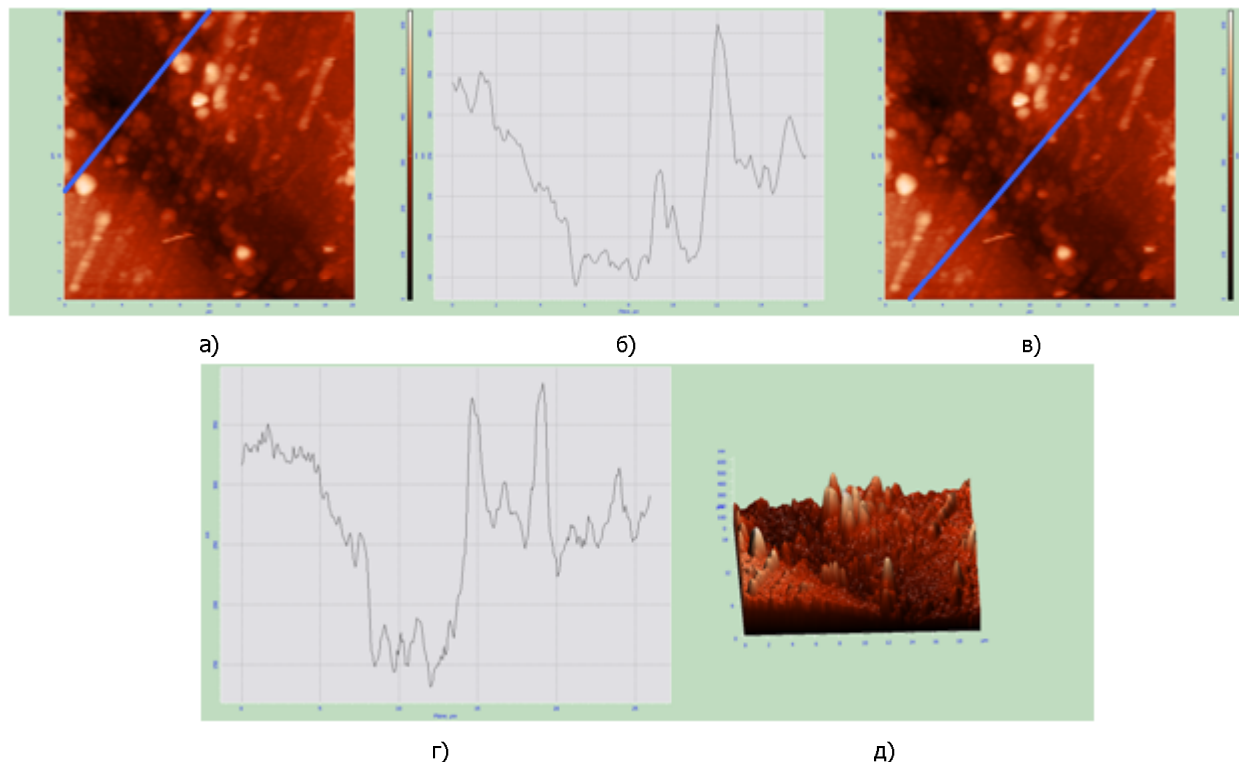


Рис. 5. Исследование наноплёнки, генерируемой на поверхности образца из стали 08ЮОСВ2А, методом латеральных сил: а, в — при сканировании поверхности плёнки; б, г — шероховатость поверхности плёнки по линии на поверхностях а, в; д — трёхмерная модель твёрдой поверхности

Проведены исследования антикоррозионных свойств смазочного материала РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка. Образцы из сталей 40Х и 08ЮОСВ2А окунали в 3-процентные водные рас-

творы РВ-18, затем выдерживали на воздухе в течение 10 суток. На стальных образцах следы коррозии не были обнаружены.

Проанализировано динамическое поведение микроорганизмов, закономерности варьирования биомассы, гибель микроорганизмов, фазы их роста при попадании смазочного материала РВ-18 в почву и воду [5]. Наблюдения за микроорганизмами в почве, водопроточной и природной воде позволили сделать вывод о биодegradации смазочного материала РВ-18, вызывающего «упругую» дегенерацию почвы и воды.

Выводы. Трибологические испытания при смазывании ФВТСМ пары трения 40Х — 08ЮОСВ2А показали, что при встраивании во фрактальный лигандный кластер смазочного материала РВ-18 2 % нанопорошка цинка происходило снижение износа образца из стали 08ЮОСВ2А с $220 \cdot 10^{-5}$ г до $50 \cdot 10^{-5}$ г, а образца из стали 40Х, соответственно, с $51 \cdot 10^{-5}$ г до $25 \cdot 10^{-5}$ г. Установлена возможность использования смазочного материала РВ-18 с встроенным во фрактальный лигандный кластер 2 % нанопорошка цинка при штамповке и вытяжке кузовных деталей из листовой стали 08ЮОСВ2А легковых автомобилей и других транспортных средств.

Библиографический список

1. Шульга, Г. И. Функциональные водорастворимые технологические смазочные средства для обработки материалов: монография / Г. И. Шульга; Изв. вузов. Северо-Кавказ. регион. — Ростов-на-Дону: [б. и.], 2004. — 212 с.

2. Шульга, Г. И. Влияние нанокластеров меди и бронзы на смазочные свойства водорастворимого смазочного материала РВ-18 / Г. И. Шульга, А. О. Колесниченко // Изв. вузов. Северо-Кавказ. регион. Проблемы трибоэлектрохимии. Техн. науки. — 2005. — Спец. вып. — С. 19—23.

3. Шульга, Г. И. Исследование смазочных свойств пластичного смазочного материала ПСМ-1, используемого в трибосопряжениях автомобилей / Г. И. Шульга, Е. В. Скринников // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. г. Новочеркасск, 5 нояб. 2009 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2009. — С. 90—96.

4. Наноинженерия смазочных материалов для повышения эффективности механической обработки деталей, долговечности трибосопряжений узлов транспортных средств и систем / Г. И. Шульга [и др.] // Прогресс транспортных средств и систем — 2009: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Волгоград. гос. техн. ун-т; редкол.: М. В. Ляшенко [и др.]. — Ч. 2. — Волгоград, 2009. — С. 212—213.

5. Шульга, Г. И. Экологические проблемы разработки, применения и утилизации водорастворимых технологических смазочных средств / Г. И. Шульга, Т. Г. Шульга // Изв. вузов. Северо-Кавказ. регион. Проблемы электрохимии и экологии. Естественные науки. — 2008. — Спец. вып. — С. 126—132.

6. Влияние наноструктурирования водорастворимых смазочных материалов на повышение эффективности механической обработки / Г. И. Шульга [и др.] // Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии: тез. докл. II Междунар. науч.-техн. конф., 21—25 июня 2010 г., Плёт, Ивановская обл. — Плёт, 2010. — С. 270.

Материал поступил в редакцию 20.12.2011.

References

1. Shul'ga, G. I. Funkcional'ny'e vodorastvorimy'e texnologicheskie smazochny'e sredstva dlya obrabotki materialov: monografiya / G. I. Shul'ga; Izv. vuzov. Severo-Kavkaz. region. — Rostov-na-Donu: [b. i.], 2004. — 212 s. — In Russian.

2. Shul'ga, G. I. Vliyanie nanoklasteroz medi i bronzы na smazochny'e svoystva vodorastvorimogo smazochnogo materiala RV-18 / G. I. Shul'ga, A. O. Kolesnichenko // Izv. vuzov. Severo-Kavkaz. region. Problemy triboe'lektroimii. Tekhn. nauki. — 2005. — Specz. vy'p. — S. 19—23. — In Russian.

3. Shul'ga, G. I. Issledovanie smazochny'x svoystv plastichnogo smazochnogo materiala PSM-1, ispol'zuemogo v tribosopryazheniyakh avtomobilej / G. I. Shul'ga, E. V. Skrinnikov // Problemy sinergetiki v tribologii, triboe'lektroimii, materialovedenii i mexatronike: materialy VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. g. Novocherkassk, 5 noyab. 2009 g. / Yuzh.-Ros. gos. tekhn. un-t (NPI). — Novocherkassk: YuRGU (NPI), 2009. — S. 90—96. — In Russian.

4. Nanoinzheneriya smazochny'x materialov dlya povы'sheniya e'ffektivnosti mexanicheskoy obrabotki detalej, dolgovechnosti tribosopryazhenij uzlov transportny'x sredstv i sistem / G. I. Shul'ga [i dr.] // Progress transportny'x sredstv i sistem — 2009: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / Volgograd. gos. tekhn. un-t; redkol.: M. V. Lyashenko [i dr.]. — Ch. 2. — Volgograd, 2009. — S. 212—213. — In Russian.

5. Shul'ga, G. I. E'kologicheskie problemy razrabotki, primeneniya i utilizacii vodorastvorimy'x tekhnologicheskix smazochny'x sredstv / G. I. Shul'ga, T. G. Shul'ga // Izv. vuzov. Severo-Kavkaz. region. Problemy e'lektroimii i e'kologii. Estestvenny'e nauki. — 2008. — Specz. vy'p. — S. 126—132. — In Russian.

6. Vliyanie nanostrukturirovaniya vodorastvorimy'x smazochny'x materialov na povы'shenie e'ffektivnosti mexanicheskoy obrabotki / G. I. Shul'ga [i dr.] // Sovremennyye metody v teoreticheskoy i e'ksperimental'noj e'lektroimii: tez. dokl. II Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., 21—25 iyunya 2010 g., Plyos, Ivanovskaya obl. — Plyos, 2010. — S. 270. — In Russian.

FUNCTIONAL TECHNOLOGICAL LUBRICANTS STRUCTURIZED WITH NONFERROUS METAL NANOPOWDERS FOR EFFICIENCY UPGRADING OF TRANSPORT PART CUTTING

G. I. Shulga

(South Russia State Technical University),

A. O. Kolesnichenko

(LLC "Production Company "Novocherkassk Electric Locomotive Plant"),

E. V. Skrinnikov

(South Russia State Technical University),

T. G. Shulga

(Rostov State Transport University)

Incorporation of functional water-soluble technological lubricants (FWTL) of zinc nanopowder into fractal clusters improves their greasy properties, and increases the stamping efficiency and iron plate draw-forming under the transport body parts fabrication.

Keywords: functional lubricant, fractal cluster, nanopowder, nanostructuring, synergetics, nanofilm, stamping, draw-forming.