

## АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Научная статья

УДК 620.19

DOI 10.24888/2541-7835-2023-28-132-141

### ВЛИЯНИЕ СВЕРХТОНКИХ ЧАСТИЦ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО НИКЕЛЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Горбушин Павел Александрович<sup>1✉</sup>, Сафонов Валентин Владимирович<sup>2</sup>,  
Шишури́н Сергей Александрович<sup>3</sup>, Величко Сергей Анатольевич<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии  
им. Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

<sup>4</sup>Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарёва, Саранск, Россия

<sup>1</sup>pavelgorbushin@gmail.com✉

<sup>2</sup>safonow2010sgau@yandex.ru

<sup>3</sup>s.shishurin@gmail.com

<sup>4</sup>velichko2005@ya.ru

**Аннотация.** Разработана технология получения композиционных электролитических покрытий на основе никеля, модифицированных сверхтонкими частицами нитрида алюминия. Технология подразумевает получение покрытий из кислых электролитов никелирования под воздействием ультразвука с частотой 22 кГц и амплитудой 50 Гц в течение всего периода нанесения. Проведены трибологические сравнительные испытания пар трения с нанесенными на поверхность роликов композиционными покрытиями по разработанной технологии и пар трения, у которых на поверхность роликов было нанесено классическое покрытие никеля. Исследования проводили в чистой и загрязненной кварцевым абразивом смазочных средах.

В результате проведенных сравнительных трибологических испытаний было установлено, что пары трения, на ролики которых было нанесено композиционное электролитическое покрытие, модифицированное сверхтонкими частицами нитрида алюминия, имеют износостойкость в 1,86...2,06 раза выше, чем аналогичные пары трения с классическим покрытием никеля. Кроме того, установлено снижение момента трения в парах, на ролики которых было нанесено покрытие по разработанной технологии, на 16...20% по сравнению с парами трения, на ролики которых было нанесено классическое покрытие никеля. Предлагаемое композиционное электролитическое покрытие на основе никеля может применяться для совершенствования технологических процессов восстановления деталей сельскохозяйственной техники на ремонтных предприятиях, в структуре которых есть гальванические участки, т.к. для внедрения данной технологии не требуется приобретение дополнительного дорогостоящего оборудования.

**Ключевые слова:** композиционное покрытие, никелирование, сверхтонкие частицы, износостойкость, момент трения, износ, сельскохозяйственная техника

**Для цитирования:** Влияние сверхтонких частиц нитрида алюминия на износостойкость электролитического никеля, используемого для восстановления деталей сельскохозяйственной техники / П.А. Горбушин, В.В. Сафонов, С.А. Шишури́н, С.А. Величко // Агропромышленные технологии Центральной России. 2023. №2(28). С. 133-142. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2023-28-132-141>.

Original article

## INFLUENCE OF ULTRAFINE ALUMINUM NITRIDE PARTICLES ON WEAR RESISTANCE OF ELECTROLYTIC NICKEL USED FOR RESTORATION OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS

*Pavel A. Gorbushin*<sup>1✉</sup>, *Valentin V. Safonov*<sup>2</sup>, *Sergey A. Shishurin*<sup>3</sup>, *Sergey A. Velichko*<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov region, Saratov, Russia

<sup>4</sup>National Research Mordovia State University, Republic of Mordovia, Saransk, Russia

<sup>1</sup>pavelgorbushin@gmail.com✉

<sup>2</sup>safonow2010sgau@yandex.ru

<sup>3</sup>s.shishurin@gmail.com

<sup>4</sup>velichko2005@ya.ru

**Abstract.** A technology has been developed for obtaining composite electrolytic coatings based on nickel modified with ultrafine particles of aluminum nitride. The technology involves obtaining coatings from acid nickel plating electrolytes under the influence of ultrasound with a frequency of 22 kHz and an amplitude of 50 Hz during the entire period of application. Tribological comparative tests of friction pairs with composite coatings applied to the surface of the rollers according to the developed technology and friction pairs, in which the classical nickel coating was applied to the surface of the rollers, were carried out. The studies were carried out in clean and contaminated with quartz abrasive lubricating media.

As a result of comparative tribological tests, it was found that friction pairs, on the rollers of which a composite electrolytic coating modified with ultrathin aluminum nitride particles was applied, have wear resistance 1.86...2.06 times higher than similar friction pairs with a classical nickel coating. In addition, a decrease in the moment of friction in pairs, on the rollers of which a coating was applied according to the developed technology, was found by 16... 20% compared with friction pairs, on the rollers of which a classic nickel coating was applied. The proposed composite electrolytic coating based on nickel can be used to improve the technological processes of restoring parts of agricultural machinery at repair enterprises, in the structure of which there are galvanic sites, because the introduction of this technology does not require the purchase of additional expensive equipment.

**Keywords:** composite coating, nickel plating, ultrafine particles, wear resistance, friction moment, wear, agricultural machinery

**For citation:** The effect of ultrafine aluminum nitride particles on the wear resistance of electrolytic nickel used for the restoration of agricultural machinery parts. P.A. Gorbushin, V.V. Safonov, S.A. Shishurin, S.A. Velichko. *Agro-industrial technologies of Central Russia*. 2023. No.2(28). Pp. 132-141. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2023-28-132-142>.

### Введение

В последние годы наблюдается тенденция развития сельскохозяйственной техники. Всё больше выпускается тракторов 4-6 тяговых классов, техника является все более металлоемкой, более мощной для достижения высоких показателей продовольственной безопасности страны. На этом фоне достаточно серьезно рассматриваются вопросы надежности такой техники. Повышение нагрузок на узлы и агрегаты при эксплуатации тракторов и комбайнов приводит к повышенному износу и более частому выходу из строя деталей, изготавливаемых и восстанавливаемых по стандартным технологиям. В связи с этим, разработка новых технологий восстановления выходящих из строя деталей сельскохозяйственной техники или совершенствование существующих технологий представляют научный и практический интерес.

Одними из наиболее эффективных и распространённых технологий восстановления деталей сельскохозяйственной техники являются технологии гальванических производств, позволяющие получать на поверхностях изношенных деталей слой металла с высокими физико-механическими свойствами [1, 4, 5, 11]. Основными достоинствами таких технологий являются экономичность за счет минимизации технологических операций, высокий ресурс восстановленных деталей, который достигает величины более 80% от величины ресурса но-

вых деталей, хорошая воспроизводимость технологических процессов за счет применения стандартного гальванического оборудования [7, 10].

Одним из распространенных процессов нанесения электролитических покрытий является никелирование [4, 7]. Нанесение никелевых покрытий на поверхности деталей сельскохозяйственной техники характеризуется низким температурным воздействием, получением ровных, гладких поверхностей, не требующих дополнительной механической обработки. В то же время, широкое применение электролитического никелирования ограничено существующими недостатками, одним из которых является низкая износостойкость получаемых поверхностных слоев никеля. Для устранения отмеченного недостатка в ремонтное производство широко внедряются композиционные покрытия. Сущность получения таких покрытий заключается во внесении сверхтонких частиц (СТЧ) в электролиты для последующего осаждения этих частиц на восстанавливаемых поверхностях и зарастания электролитическими покрытиями. При зарастании СТЧ придают получаемым покрытиям уникальные физико-механические свойства [4, 6-10]. В литературе достаточно полно описываются технологии получения композиционных покрытий преимущественно с СТЧ алмаза или оксидов [1, 5], например, алюминия, тогда как взаимодействие нитридов, в том числе нитрида алюминия (AlN) с электролитами никелирования практически не освещено. При этом известно, что нитриды, при взаимодействии с кислотами, присутствующими в кислотных электролитах, выделяют азот, внедрение которого в электролитическое покрытие может способствовать улучшению его физико-механических свойств. В связи с этим, целью работы является изучение влияния СТЧ нитрида алюминия на износостойкость композиционных электролитических никелевых покрытий для их использования при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники.

### Материалы и методы исследований

Для анализа износостойкости композиционных электролитических никелевых покрытий, модифицированных СТЧ нитрида алюминия, были проведены лабораторные сравнительные трибологические испытания.

Никелевые покрытия получали из кислого электролита, представленного в табл. 1.

Таблица 1. Состав электролита композиционного никелирования и режимы электролиза

Наименование реагентов или режимов	Количество реагентов или величина параметров
Состав электролита композиционного никелирования	
Никель сернокислый	250...350 г/л
Борная кислота	35...45 г/л
Никель хлористый	35...70 г/л
Добавка Omni Additive 902	8...10 мл/л
Добавка Magnum 898 Brightner	0,2...0,6 мл/л
СТЧ нитрида алюминия	5 г/л
Режимы нанесения композиционных никелевых покрытий	
рН	4,0...4,6
Температура электролита	50...65 °С
Катодная плотность тока	2...6 А/дм <sup>2</sup>
Частота ультразвука	22 кГц
Амплитуда ультразвука	50 Гц
Время нанесения покрытия	20 мин
Площадь анодов к площади катода	5:1

Анализ существующих технологий создания СТЧ позволил выбрать метод плазменной переконденсации, которым получают порошки различных металлов размером частиц от 10 до 100 нм. Метод достаточно хорошо описан в литературе и запатентован в Российской Федерации [2]. Приготовление электролита для нанесения композиционных электролитических

покрытий (КЭП) проводили в соответствии с технологией, описанной в предыдущих работах авторов [7, 10]. Технологический процесс нанесения КЭП состоял из следующих технологических операций: 1) химическое обезжиривание; 2) горячая промывка; 3) электролитическое обезжиривание; 4) горячая промывка; 5) холодная промывка; 6) химическое травление; 7) холодная двухкаскадная промывка; 8) активация; 9) холодная двухкаскадная промывка; 10) никелирование; 11) холодная промывка; 12) сушка.

Все промывки проводили в проточной воде температурой 18...25 °С и горячей – температурой от 70 до 75 °С. Все рабочие электролиты и растворы изготавливали объемом 5 литров. Химическое обезжиривание проводилось в растворе, состав и режимы проведения которого представлены в табл. 2.

Таблица 2. Состав раствора химического обезжиривания и режимы проведения операции

Наименование реагентов или режимов	Количество реагентов или величина параметров
Состав раствора химического обезжиривания	
Добавка Surfolin	45...65 г/л
Дистиллированная вода	оставшийся объем ванны
Режимы проведения химического обезжиривания	
Температура раствора	18...25 °С
Время обезжиривания	1...4 мин

Электролитическое обезжиривание проводили в электролите, состав и режимы которого представлены в табл. 3.

Таблица 3. Состав электролита электролитического обезжиривания и режимы проведения операции

Наименование реагентов или режимов	Количество реагентов или величина параметров
Состав электролита электролитического обезжиривания	
Добавка Surfolin	45...85 г/л
Дистиллированная вода	оставшийся объем ванны
Режимы проведения электролитического обезжиривания	
Температура электролита	18...25 °С
Катодная плотность тока	2...8 А/дм <sup>2</sup>
Время обезжиривания	1...3 мин

Химическое травление проводили в растворе, состав и режимы проведения которого представлены в табл. 4.

Таблица 4. Состав раствора химического травления и режимы проведения операции

Наименование реагентов или режимов	Количество реагентов или величина параметров
Состав раствора химического травления	
Соляная кислота	300...500 г/л
Фторид натрия	10...15 г/л
Дистиллированная вода	оставшийся объем ванны
Режимы проведения химического травления	
Температура раствора	45...50 °С
Время обезжиривания	1...3 мин

Активацию проводили в растворе, состав и режимы проведения которого представлены в табл. 5.

Таблица 5. Состав раствора активации и режимы проведения операции

Наименование реагентов или режимов	Количество реагентов или величина параметров
Состав раствора для активации	
Соляная кислота	100...300 г/л
Дистиллированная вода	оставшийся объем ванны
Режимы проведения активации	
Температура раствора	45...50 °С
Время обезжиривания	1 мин

Сушку проводили в сушильном шкафу ПЭ-4620М при температуре 100...110 °С и выдерживали детали в шкафу не менее 30 минут.

Покрyтия наносили на образцы с использованием лабораторной ультразвуковой гальванической установки (рис. 1) [3].



Рисунок 1. Лабораторная ультразвуковая гальваническая установка

Установка состояла из ультразвуковой ванны 1, оснащенной тремя ультразвуковыми элементами, соединенными с ультразвуковым генератором 2. Под действием ультразвука происходило перемешивание электролита, а также подвод СТЧ к катоду для лучшего их за­растания электролитическим покрытием. Поддержание температуры осуществлялось электрической системой автоматического управления температурой 3, к которой подключен ТЭН 4 с температурным датчиком. Заданная сила тока поддерживалась источником тока 5.

Трибологические испытания проводили в условиях трения скольжения на машине трения МИ-1М (рис. 2). Контактное покрытие образцов осуществляли по схеме «ролик – колодка» (рис. 3) [10].



Рисунок 2. Машина трения МИ-1М

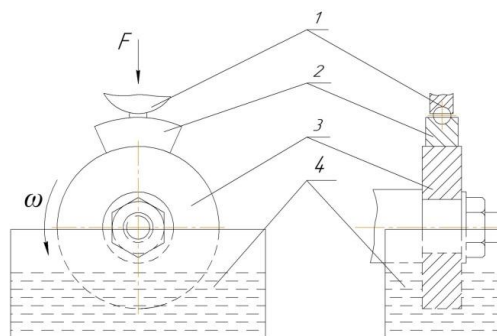


Рисунок 3. Схема «ролик – колодка»:  
1 – фиксатор колодки; 2 – колодка;  
3 – ролик; 4 – смазочная среда

Для получения более точных значений были испытаны 3 пары трения. Покрытие наносили на образцы в виде роликов из стали 45 ГОСТ 1050-2013 диаметром 50 мм и шириной 10 мм. Поверхность роликов шлифовали до получения шероховатости Ra 0,32 мкм. Колодки также были изготовлены из стали 45 ГОСТ 1050-2013 наружным диаметром 68 мм, внутренний диаметр которых был отшлифован под размер ролика и отполирован до шероховатости Ra 0,32 мкм. На колодки покрытие не наносили. Материал образцов был выбран по аналогии с материалом изготовления большинства деталей сельскохозяйственной техники, работающих в условиях трения в смазочной среде.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 23.224-86 в двух средах: в чистом и загрязненном индустриальном масле И-20 ГОСТ 20799-88.

Загрязнителем служил кварцевый абразив 1К10101 ГОСТ 2138-91 с размером частиц 8-12 мкм при концентрации 0,08% по массе.

Режимы испытаний устанавливали на основании предварительных экспериментов. При этом выбирали такие режимы, которые обеспечивали бы получение ощутимых износов пар трения за минимальное время. Перед испытаниями с целью формирования начальной микрогеометрии и структуры рабочих поверхностей образцы пар трения подвергали приработке при режимах, приведенных в табл. 6.

Таблица 6. Режимы лабораторных трибологических испытаний

Наименование испытания	Нагрузка, Н	Частота вращения ролика, мин <sup>-1</sup>	Смазочная среда	Продолжительность испытания, ч
Приработка	850	440	Масло И-20	1
Испытания в чистой смазочной среде				3
Испытания в загрязненной смазочной среде			Масло И-20, загрязненное кварцевым абразивом	3

Эффективность КЭП определяли по моменту трения и суммарному весовому износу образцов. Непрерывное измерение момента трения на машине трения производилось с помощью маятникового механизма. Износ образцов определяли их взвешиванием на весах HR-250AZG 1-го класса точности.

### Результаты исследований и их обсуждение

Испытаниям подвергали образцы с классическим электролитическим покрытием никеля и КЭП на основе никеля. Внешний вид пар трения до и после испытаний представлен на рисунке 4.

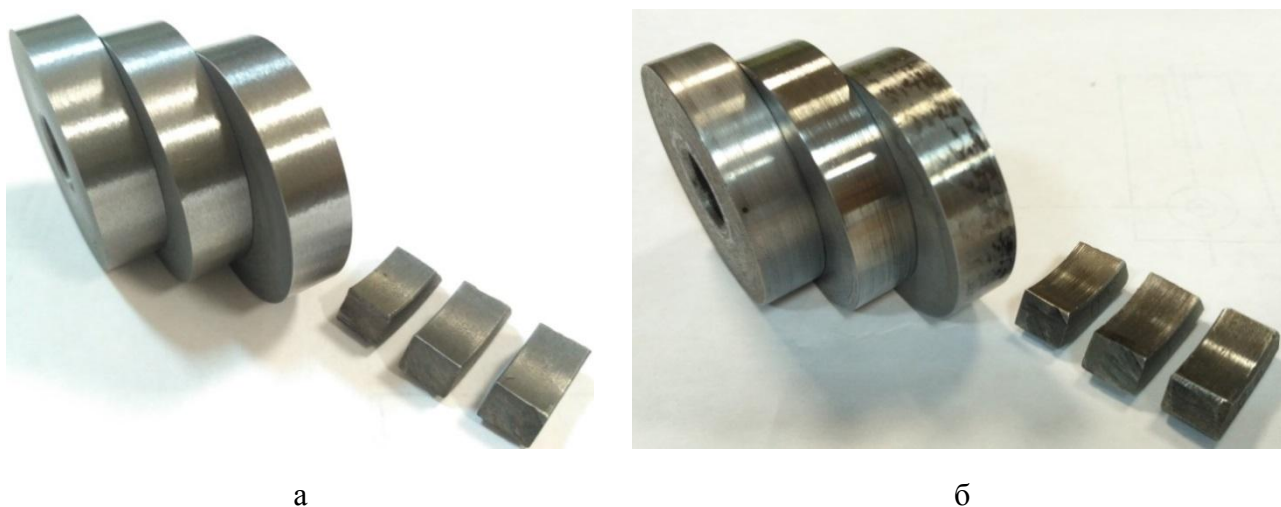


Рисунок 4. Внешний вид пар трения для трибологических испытаний:  
а – до испытаний; б – после испытаний

Результаты трибологических испытаний представлены на рис. 5 и 6.

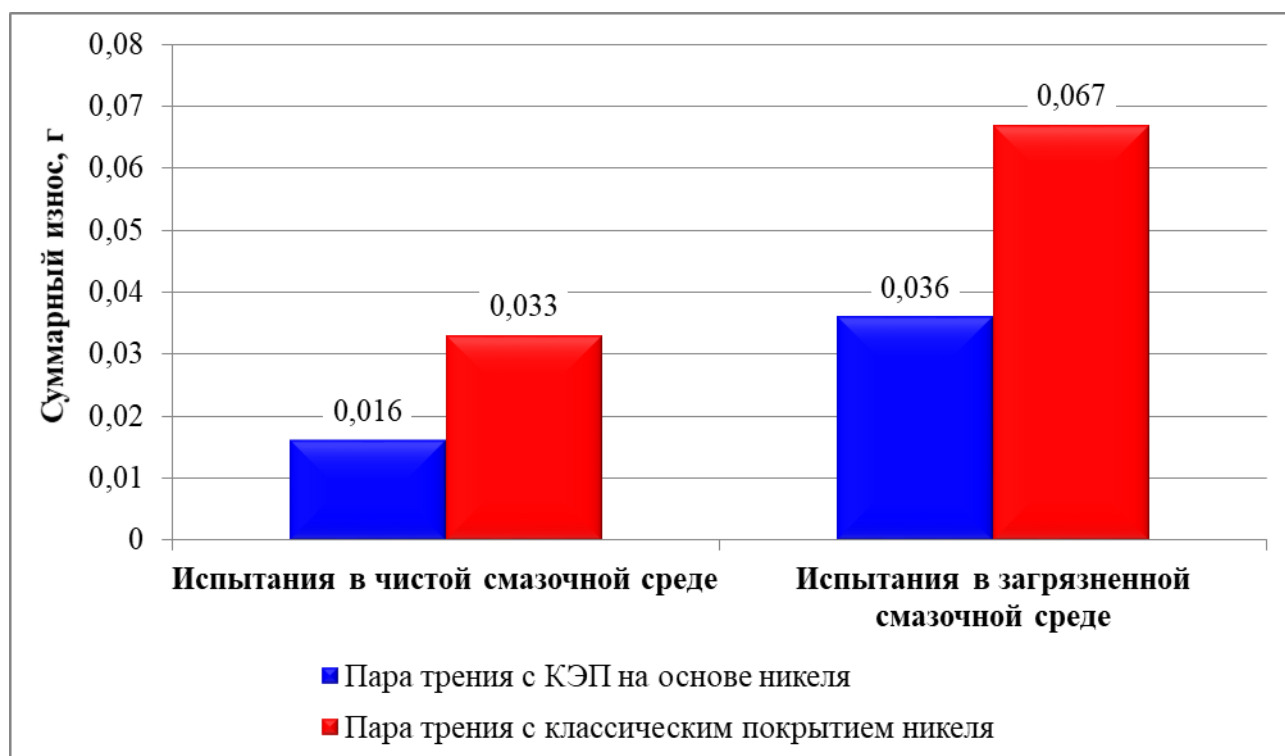


Рисунок 5. Суммарный износ по массе пар трения

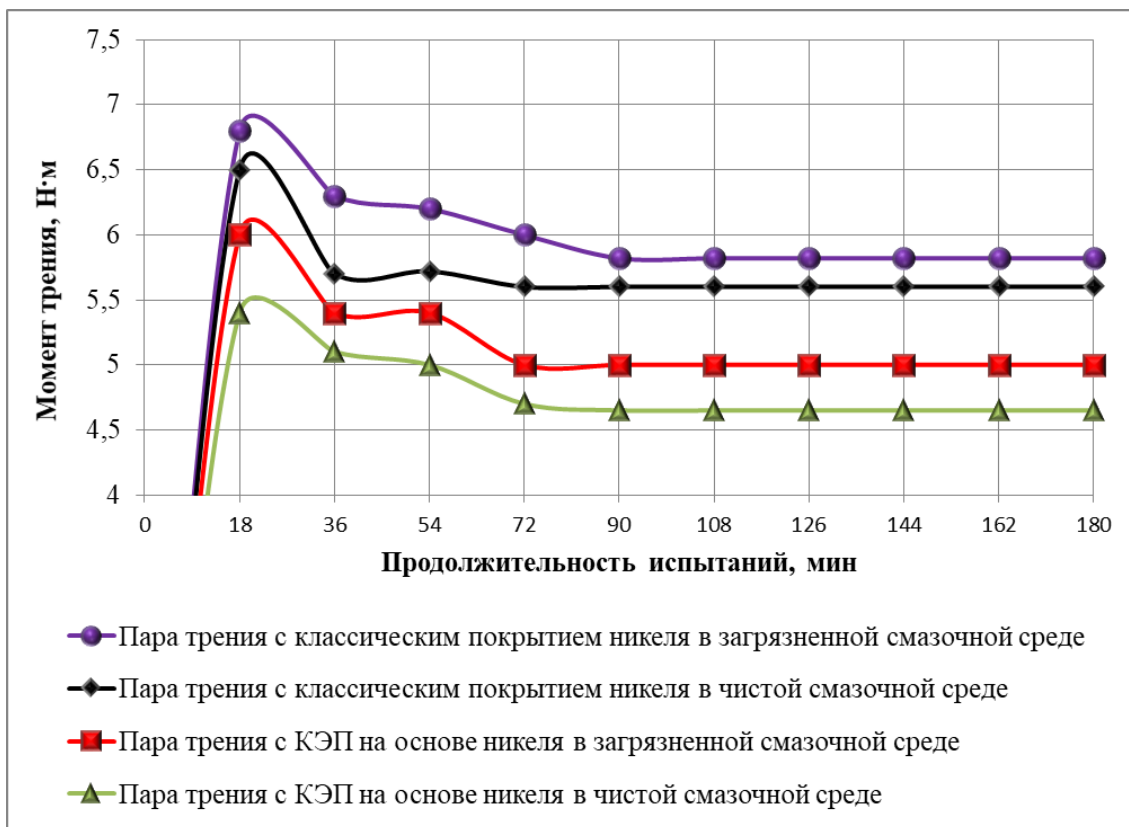


Рисунок 6. Изменение момента трения

Из рисунка 5 видно, что суммарный износ по массе у пары трения, на ролики которой нанесено КЭП на основе никеля, ниже, чем аналогичный показатель у пары трения с классическим покрытием.

При испытаниях в чистой смазочной среде суммарный износ по массе пары трения, на ролики которой нанесено КЭП на основе никеля, составил 0,016 г, что в 2,06 раза меньше, чем у пары трения, на ролики которой нанесен классический никель.

В загрязненной смазочной среде аналогичный износ для КЭП на основе никеля составил 0,036 г, что в 1,86 раза меньше, чем у пары трения, на ролики которой нанесено классическое покрытие. Кроме того, было отмечено снижение момента трения у пар трения, ролики которых покрыты КЭП на основе никеля (рис. 6). Так, у образцов с КЭП на основе никеля в чистой смазочной среде момент трения к концу испытаний достиг значения 4,65 Н·м, что на 20% ниже, чем у образцов с классическим покрытием никеля. В загрязненной смазочной среде у образцов с КЭП на основе никеля момент трения составил 5,0 Н·м, что на 16% меньше, чем у образцов с классическим покрытием.

### Выводы

1. На основании полученных результатов было установлено, что никелевые покрытия, модифицированные СТЧ нитрида алюминия, имеют более высокую износостойкость, чем классические никелевые покрытия.

2. Результаты исследований показали, что КЭП на основе никеля являются перспективными покрытиями для восстановления и упрочнения наиболее ответственных деталей сельскохозяйственной техники, таких как валы и оси, коренные и шатунные шейки коленчатых валов дизелей, золотники гидрораспределителей и др., так как обладают значительным сопротивлением износу.

3. Разработанное композиционное электролитическое покрытие на основе никеля является перспективным для совершенствования классических технологических процессов восстановления деталей сельскохозяйственной техники на ремонтных предприятиях, в структу-



ре которых есть гальванические участки, т.к. восстановление деталей по усовершенствованной технологии может проводиться на обычном гальваническом оборудовании для классического никелирования.

#### **Список источников**

1. Модифицирование поверхностей композитов наночастицами металлов / Н.В. Соцкая, С. В. Макаров, О. В. Долгих [и др.] // Неорганические материалы. 2010. Т. 46. № 11. С. 1316-1322.
2. Пат. № 2207933 Российская Федерация, МПК В22F9/12. Способ получения ультрадисперсного порошка и устройство для его осуществления / В. И. Кириллин, Э. К. Добринский, Е. А. Красюков, С. И. Малашин. № 2001118997/02; заявл. 10.07.2001; опубл. 10.07.2003, бюл. № 19.
3. Пат. 2680116 Российская Федерация, МПК С25D 15/00, С25D 17/02. Установка для получения композиционных электролитических покрытий / В.В. Сафонов, Э.К. Добринский, С.А. Шишурин, С.В. Чумакова, П.А. Горбушин. № 2018116958; заявл. 07.05.2018; опубл. 15.02.2019, Бюл. № 5.
4. Получение Ni-P-TiO<sub>2</sub> покрытий с улучшенными механическими и каталитическими свойствами / И. Р. Субакова, К. А. Остапенко, Н. А. Медведева, И. В. Петухов // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 385. С. 206-212.
5. Широбокова О.Е., Кисель Ю.Е., Безик Д.А. Применение электротехнологий для восстановления деталей сельскохозяйственной техники // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. № 10 (107). С. 22-26.
6. Abrasive wear mechanism of polymer composites with a dispersed filler. A.M. Mikhailchenkov, I.N. Kravchenko, Yu.I. Filin [et al.]. Refractories and Industrial Ceramics. 2022. Vol. 63. No. 2. Pp. 174-177.
7. Application of Composite Electroless Nickel Coatings on Precision Parts of Hydraulics Aggregates. V. Safonov, S. Shishurin, P. Gorbushin [et al.]. Tribology in Industry. 2019. Vol. 41. No. 1. Pp. 14-22.
8. Assessment of Tribological Behavior of Nickel-Nano Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Composite Coatings Fabricated by Pulsed Electroplating Process. Sajjadnejad, M.; Abadeh, H. Karimi; Omidvar, H.; et al. Surface topography-metrology and properties. 2020. Vol. 8 (2). Article Number: 025009.
9. Increasing the Wear Resistance of Parts by Iron-Based Polymer-Metal Composites. Yu.E. Kisel, A.O. Gorlenko, A.V. Kolomeichenko, D.A. Boldyrev. Steel in Translation. 2022. Vol. 52. No. 6. Pp. 624-627.
10. Investigation of Structure and Wear Resistance of Nanocomposite Coating of Chemical Nickel. V. Safonov, S. Shishurin, P. Gorbushin [et al.]. Tribology in Industry. 2018. Vol. 40. No. 4. Pp. 529-537.
11. Submicrostructure of «Pure» Electrolytic Coatings. Yu. E. Kisel, I. N. Kravchenko, Y. A. Kuznetsov [et al.]. Russian Metallurgy (Metally). 2022. Vol. 2022. No. 6. Pp. 660-665.

#### **References**

1. Modification of Composite Surfaces by Metal Nanoparticles. N. V. Sotskaya, S. V. Makarov, O. V. Dolgikh [et al.]. Inorganic materials. 2010. Vol. 46, No. 11. Pp. 1316-1322.
2. Pat. No. 2207933 Russian Federation, IPC B22F 9/12. A method for obtaining an ultrafine powder and a device for its implementation. V.I. Kirillin, E.K. Dobrinsky, E.A. Krasnyukov, S. I. Malashin. No. 2001118997/02; application No. 10.07.2001; publ. 10.07.2003, bul. No. 19.
3. Pat. 2680116 Russian Federation, IPC C25D 15/00, C25D 17/02. Installation for obtaining composite electrolytic coatings. V.V. Safonov, E.K. Dobrinsky, S.A. Shishurin, S.V. Chumakova, P.A. Gorbushin. No. 2018116958; application 07.05.2018; publ. 15.02.2019, Bul. No. 5.

4. Obtaining Ni-P-TiO<sub>2</sub> Coatings with Improved Mechanical and Catalytic Properties. I. R. Sudakova, K. A. Ostapenko, N. A. Medvedeva, I. V. Petukhov. Bulletin of Tomsk State University. 2014. No. 385. Pp. 206-212.
5. Shirobokova O.E., Kisel Yu.E., Bezik D.A. Application of Electrotechnologies for the Restoration of Agricultural Machinery Parts. Bulletin of the Bryansk State Technical University. 2021. No. 10 (107). Pp. 22-26.
6. Abrasive wear mechanism of polymer composites with a dispersed filler. A.M. Mikhailchenkov, I.N. Kravchenko, Yu.I. Filin [et al.]. Refractories and Industrial Ceramics. 2022. Vol. 63. No. 2. Pp. 174-177.
7. Application of Composite Electroless Nickel Coatings on Precision Parts of Hydraulics Aggregates. V. Safonov, S. Shishurin, P. Gorbushin [et al.]. Tribology in Industry. 2019. Vol. 41. No. 1. Pp. 14-22.
8. Assessment of Tribological Behavior of Nickel-Nano Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Composite Coatings Fabricated by Pulsed Electroplating Process. Sajjadnejad, M.; Abadeh, H. Karimi; Omidvar, H.; et al. Surface topography-metrology and properties. 2020. Vol. 8 (2). Article Number: 025009.
9. Increasing the Wear Resistance of Parts by Iron-Based Polymer-Metal Composites. Yu.E. Kisel, A.O. Gorlenko, A.V. Kolomeichenko, D.A. Boldyrev. Steel in Translation. 2022. Vol. 52. No. 6. Pp. 624-627.
10. Investigation of Structure and Wear Resistance of Nanocomposite Coating of Chemical Nickel. V. Safonov, S. Shishurin, P. Gorbushin [et al.]. Tribology in Industry. 2018. Vol. 40. No. 4. Pp. 529-537.
11. Submicrostructure of «Pure» Electrolytic Coatings. Yu. E. Kisel, I. N. Kravchenko, Y. A. Kuznetsov [et al.]. Russian Metallurgy (Metally). 2022. Vol. 2022. No. 6. Pp. 660-665.

#### **Информация об авторах**

**П.А. Горбушин** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК»;

**В.В. Сафонов** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническое обеспечение АПК»;

**С.А. Шишурин** – доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК», декан факультета инженерии и природообустройства;

**С.А. Величко** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технического сервиса машин, заместитель директора по научной работе Института механики и энергетики Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева.

#### **Information about the authors**

**P.A. Gorbushin** – candidate of technical sciences, associate professor of «Technical support of the agro-industrial complex»;

**V.V. Safonov** – doctor of technical sciences, professor, head of «Technical support of the agro-industrial complex»;

**S.A. Shishurin** – doctor of technical sciences, associate professor, associate professor of «Technical support of the agro-industrial complex», dean of the faculty of engineering and environmental management;

**S.A. Velichko** – doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department of technical service of machines, deputy director for scientific work of the Institute of mechanics and energy of the National research Mordovian state university named after N.P. Ogarev