

References

1. Skoblo T.S. Razrabotka tekhnologii termoo-brabotki dvukhsloynnykh prokatnykh valkov iz legirovannykh chugunov (Development of heat treatment technology of two-ply rolls of alloyed cast iron) / T.S. Scoblo, O.Y. Klochko, A.I. Sidorenko et al. // Steel. № 9. 2013. Pp. 77–80.

2. Skoblo T.S. Obosnovanie primeneniya ponyatiy uravneniy gidrodinamiki Nav'e-Stoksa dlya analiza metallograficheskikh izobrazheniy (The rationale for the use of the hydrodynamics equations concepts, the Navier-Stokes equations for the analysis of metallographic images) / T.S. Scoblo, E.L. Belkin, O. Y. Klochko // http://www.rusnauka.com/12_ENXXI_2011/Tecnic/8_85541.doc.htm.

Tamara S. Skoblo – PhD (Eng), Professor, Department of Repair Production Technology Systems, Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasilenko; 61002, Ukraine, Kharkov, Artema ul., 44; tel.: +38067-289-40-98, +38057-732-98-544; e-mail: stamarasemenovna@mail.ru.

Oksana Yu. Klochko – PhD (Eng), Senior Lecturer, Materials Technology Department, Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasilenko; 61002, Ukraine, Kharkov, Artema ul., 44; tel.: +38067-584-95-45, +38057-716-41-53; e-mail: vklochko@yandex.ua.

Yefim L. Belkin – engineer, Department of Repair Production Technology Systems, Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasilenko; 61002, Ukraine, Kharkov, Artema ul., 44; e-mail: fima_belkin@meta.ua.

Received 17 June 2015

УДК 621.891:621.793.001.57-048.35

А.В. КОЛОМЕЙЧЕНКО, А.В. КОЗЛОВ

Орловский государственный аграрный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПЭО-ПОКРЫТИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОПОРОШКОМ CuO

В статье приведены результаты исследований на изнашивание пар трения, содержащих покрытия, сформированных плазменно-электролитическим оксидированием с модифицированием упрочненного слоя нанопорошком оксида меди (CuO). Представлены экспериментальные данные по измерению коэффициента трения в испытываемых соединениях. Целью исследования является исследование применения модифицированных ПЭО-покрытий на деталях из алюминиевых сплавов для снижения изнашивания и, как следствие, повышение долговечности деталей машин. Разработали новый способ модифицирования ПЭО-покрытий. Выявили, что наибольшее снижение значения коэффициента трения произошло у пары трения «Сталь 40Х – ПЭО-покрытие со сквозной пористостью 12%, модифицированное CuO ». Установили, что при использовании рекомендуемых составов электролитов для ПЭО и дугового электрофореза, режимов двухступенчатой обработки и состава раствора-носителя нанопорошка CuO износостойкость испытываемых подвижных соединений с ПЭО-покрытиями модифицированными частицами нанопорошка CuO в 1,5...2 раза выше, а коэффициент трения в 2 раза ниже, чем у аналогичных подвижных соединений без модифицирования упрочненного слоя, принятых за эталон сравнения. Доказали, что применение ПЭО-покрытий, модифицированных частицами нанопорошка CuO , позволяет повысить долговечность деталей подвижного соединения.

Ключевые слова: модифицирование, ПЭО-покрытие, частица, нанопорошок, оксид меди, коэффициент трения, износостойкость.

В условиях граничной смазки или взаимодействия без смазочного материала, которые возникают в аварийных ситуациях, а также в периоды приработки, начала или окончания работы машины, рабочая поверхность детали подвижного соединения, упрочненная ПЭО-покрытием, вызывает значительный износ ответной детали типа «вал» при их взаимодействии, за счет чего происходит снижение износостойкости подвижного соединения в целом. В связи с этим в ПЭО-покрытие необходимо внедрить материалы, которые могут уменьшить коэффициент трения и снизить количество теплоты, выделяющейся в подвижном соединении [1, 2]. На основании анализа данных литературы и собственных проведенных исследований нами было сделано предположение, что таким материалом могут являться частицы CuO [3, 4, 9]. Способом их включения в ПЭО-покрытие, может служить дуговой электрофорез. Частицы CuO в виде порошка, содержащиеся в клеевом составе, наносятся на поверхность уже сформированного оксидокерамического покрытия и высушиваются. Их включение в состав упрочненного слоя осуществляется в электролитической ванне под действием искровых разрядов [5–7].

Материалы и методы исследования

Для установления влияния частиц нанопорошка CuO после модифицирования ПЭО-покрытия на износостойкость подвижного соединения были проведены сравнительные испытания на изнашивание, в ходе которых контролировался коэффициент

трения. В качестве примера была выбрана пара трения «Поршень–стенка гидроцилиндра». Данные детали достаточно часто производят из литейного алюминиевого сплава АК7ч и стали 40Х соответственно.

При проведении исследований на машине трения (рис. 1) контролировался коэффициент трения в следующих подвижных соединениях:

- 1) сталь 40Х – ПЭО-покрытие;
- 2) сталь 40Х – ПЭО-покрытие со сквозной пористостью 8%, модифицированное CuO ;
- 3) сталь 40Х – ПЭО-покрытие со сквозной пористостью 12%, модифицированное CuO .

Нагрузка на индентор для каждой пары трения составляла 125 Н; 240 Н; 340 Н. При данных нагрузках определялся коэффициент трения (рис. 2, 3).

Результаты исследования

Как следует из рисунка 2, с увеличением нагрузки коэффициент трения для всех пар трения увеличивается. Из полученных данных следует, что коэффициент трения в паре трения «Сталь 40Х – ПЭО-покрытие» имеет более низкие значения, чем у остальных. Это объясняется тем, что при одинаковом для всех испытуемых подвижных соединений параметре шероховатости R_a , параметр шероховатости S у других пар трения увеличен за счет модифицирования пор частицами нанопорошка CuO .

После приработки и испытаний в течение 50 ч значения коэффициента трения для всех исследуемых пар трения снизились (рис. 3). Наибольшее

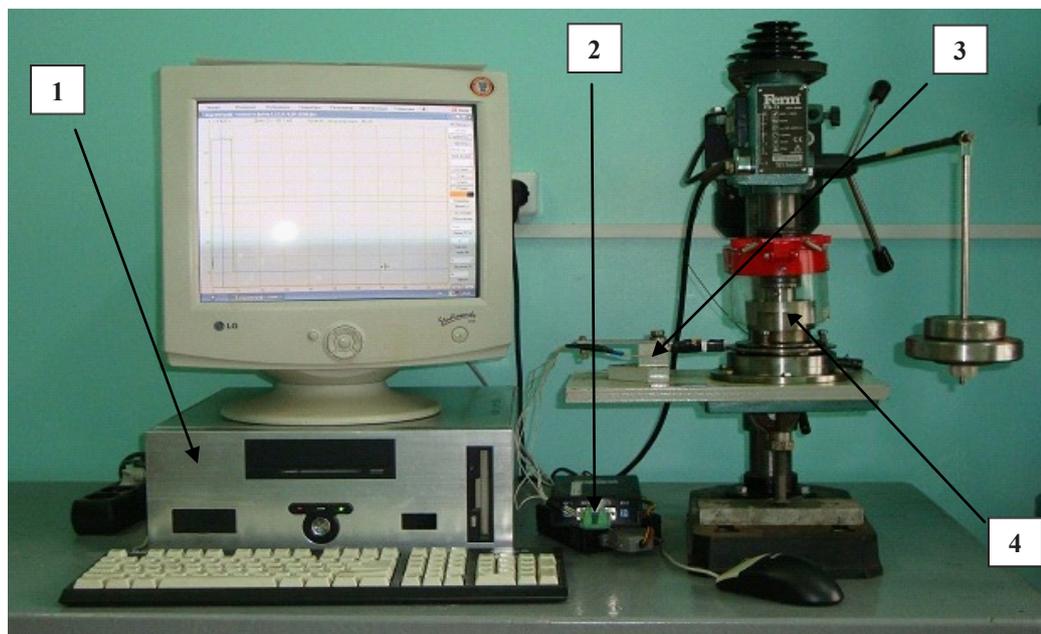


Рис. 1. Общий вид машины трения универсальной МТУ-01:

1 – ПК; 2 – предварительный усилитель и модуль АЦП; 3 – тензодатчик; 4 – испытуемое соединение

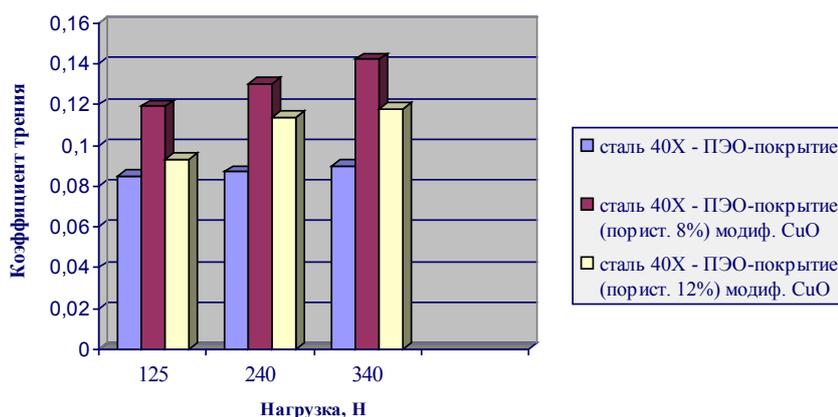


Рис. 2. Значения коэффициента трения для различных пар трения до их приработки в зависимости от нагрузки

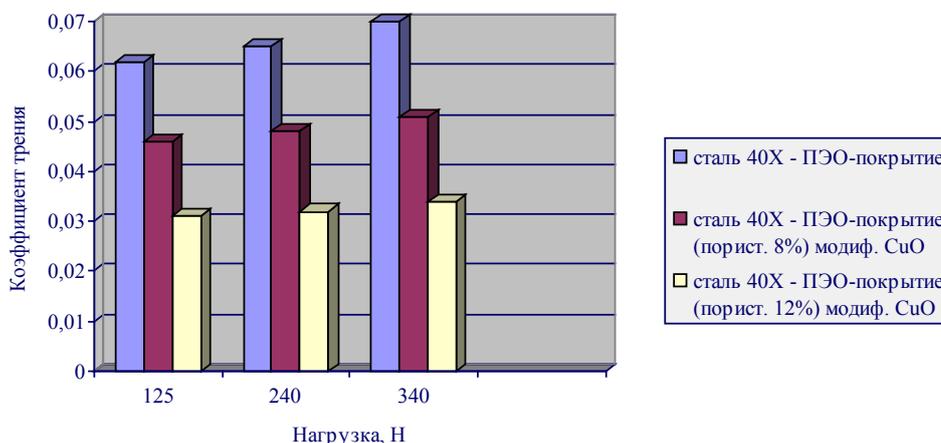


Рис. 3. Значения коэффициента трения для различных пар трения в зависимости от нагрузки после приработки и 50 ч испытаний

снижение произошло у пары трения «Сталь 40X – ПЭО-покрытие со сквозной пористостью 12%, модифицированное CuO». Это свидетельствует о том, что включение CuO в ПЭО-покрытие способствует уменьшению коэффициента трения в подвижном соединении.

Проведенный комплекс научных исследований [7, 8] позволил установить, что при использовании рекомендуемых составов электролитов для ПЭО и дугового электрофореза, режимов двухступенчатой обработки и состава раствора-носителя нанопорошка CuO износостойкость испытуемых подвижных соединений с ПЭО-покрытиями модифицированными частицами нанопорошка CuO в 1,5...2 раза выше, а коэффициент трения в 2 раза ниже, чем у аналогичных подвижных соединений без модифицирования упрочненного слоя, принятых за эталон сравнения. Научные исследования проводились при поддержке Федерального госу-

дарственного бюджетного учреждения «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» программы «УМНИК».

Библиографический список

1. Басинюк В.Л. Тепловая нагруженность фрикционного контакта деталей из алюминиевых сплавов с покрытиями Al₂O₃ / В.Л. Басинюк, А.В. Коломейченко, Е.И. Мардосевич, Н.В. Титов // Трение и износ. 2005, Т. 26. № 3. С. 295–303.
2. Басинюк В.Л. Способ фрикционно-механического формирования антифрикционных покрытий на Al₂O₃ / В.Л. Басинюк, А.В. Коломейченко, В.А. Кукареко, Е.И. Мардосевич, Н.В. Титов // Трение и износ. 2005, Т. 26. № 5. С. 530–538.
3. Басинюк В.Л. Улучшение антифрикционных свойств МДО-покрытий за счет нанесения на их поверхность слоев из меди и ее сплавов /

В.Л. Басинюк, Е.И. Мардосевич, А.В. Коломейченко, Н.В. Титов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006, № 4. С. 23–26.

4. Коломейченко А.В. Медный слой как средство повышения антифрикционных свойств деталей с МДО-покрытиями / А.В. Коломейченко // Тракторы и сельхозмашины. 2008, № 5. С. 54–55.

5. Коломейченко А.В. Повышение износостойкости деталей из алюминиевых сплавов покрытиями, модифицированными нанопорошком CuO / А.В. Коломейченко, А.В. Козлов // Тракторы и сельхозмашины. 2013, № 6. С. 44–46.

6. Коломейченко А.В. Модифицирование нанопорошком CuO покрытий, сформированных микродуговым оксидированием / А.В. Коломейченко, А.В. Козлов // Техника и оборудование для села. 2013, № 4. С. 44–46.

7. Коломейченко А.В. Повышение износостойкости деталей из алюминиевых сплавов специализированными покрытиями / А.В. Коломейченко, А.В. Козлов // Строительные и дорожные машины. 2013, № 1. С. 20–26.

8. Коломейченко А.В. Использование нанопорошков CuO для повышения износостойкости подвижных соединений деталей машин с МДО-покрытиями / А.В. Коломейченко, А.В. Козлов // Тр. ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. С. 169–173.

9. Коломейченко А.В. Технология повышения износостойкости подвижных соединений деталей машин с МДО-покрытиями / А.В. Коломейченко, А.В. Козлов // Тр. ГОСНИТИ. 2014. Т. 114. С. 104–107.

Коломейченко Александр Викторович – д.т.н., профессор, Орловский государственный аграрный университет; 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69; тел.: (4862) 43-19-79; e-mail: aleksvit1610@rambler.ru.

Козлов Алексей Витальевич – к.т.н., старший преподаватель, Орловский государственный аграрный университет; 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69; тел.: (4862) 43-19-79; e-mail: aleksvit1610@rambler.ru.

Статья поступила 25.06.2015

DETERMINING FRICTION RATIO OF PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION (PEO) COATINGS MODIFIED BY CuO NANOPOWDER

A.V. KOLOMEICHENKO, A.V. KOZLOV

Orel State Agrarian University

The paper presents the results of wear research of contacting pairs with coatings made by plasma electrolytic oxidation and modified by copper oxide (CuO) nanopowder. The authors show experimental data on the determination of the friction ratio in the tested joints. The research goal is to analyze the application of the modified PEO coatings on machine parts made from aluminum alloys to reduce their wear and consequently increase durability. A new method of applying modified PEO coatings has thus been developed. It is demonstrated that the maximum decrease of friction ratio has been observed for the contacting pair «Steel 40X – PEO coating with through porosity of 12% modified by CuO». The authors have thus established that while applying the recommended electrolyte compositions for plasma electrolytic oxidation (PEO) and arc electrophoresis, double stage processing modes and the solution composition of the copper oxide (CuO) nanopowder, the wear resistance of the tested flexible joints with the PEO coatings modified by nanopowder CuO particles is 1,5...2 times as high, and the friction ratio is 2 times as low in comparison with analogous flexible joints without the hardened layer modification which are considered as a comparison standard. It is proved that the application of PEO coatings modified by CuO nanopowder particles allows increase of flexible joint parts durability.

Key words: modification, PEO coating, particle, nanopowder, copper oxide, friction ratio, wear resistance

References

1. Basinyuk V.L. Teplovaya nagruzhennost' friktsionnogo kontakta detaley iz alyuminievyykh splavov s pokrytiyami Al₂O₃ (Thermal loading of frictional contact of the parts from aluminium alloys with Al₂O₃ coatings) / V.L. Basinyuk, A.V. Kolomeichenko, E.I.

Mardosevich, N.V. Titov // Friction and Wear. 2005. V. 26. № 3. P. 295–303.

2. Basinyuk V.L. Sposob friktsionno-mekhanicheskogo formirovaniya antifriktsionnykh pokrytiy na Al₂O₃ (Method of friction and mechanic formation of antifriction coatings on) / V.L. Basinyuk, A.V. Kolomeichenko, V.A. Kukareko, E.I. Mardosevich,

N.V. Titov // Friction and Wear. 2005. V. 26. № 5. Pp. 530–538.

3. Basinyuk V.L. (Improvement of antifriction properties of microarc oxidation-coatings with cuprum layers and alloys application on their surface / V.L. Basinyuk, E.I. Mardosevich, A.V. Kolomeichenko, N.V. Titov // Hardening Technologies and Coatings. 2006, № 4. Pp. 23–26.

4. Kolomeichenko A.V. Uluchshenie antifriktsionnykh svoystv MDO-pokrytiy za schet naneseniya na ikh poverkhnost' sloev iz medi i ee splavov (Cuprum layer as a measure to increase antifriction properties of parts with microarc oxidation-coatings) / A.V. Kolomeichenko // Tractors and Farm Machines. 2008. № 5. Pp. 54–55.

5. Kolomeichenko A.V. Povyshenie iznosostoykosti detaley iz alyuminievykh splavov pokrytiyami, modifitsirovannymi nanoporoshkom CuO (Increase of wear resistance of the parts made of aluminium alloys by the modified CuO nanopowder coatings) / A.V. Kolomeichenko, A.V. Kozlov // Tractors and agricultural machines. 2013. № 6. Pp. 44–46.

6. Kolomeichenko A.V. Modifitsirovanie nanoporoshkom CuO pokrytiy, sformirovannykh mikrodogovym oksidirovaniem (Modifying with CuO nanopowder of coatings formed by microarc oxidation) / A.V. Kolo-

meichenko, A.V. Kozlov // Farm Machinery and Equipment. 2013. № 4. Pp. 44–46.

7. Kolomeichenko A.V. Povyshenie iznosostoykosti detaley iz alyuminievykh splavov spetsializirovannymi pokrytiyami (Increase of wear resistance of the parts made of aluminium alloys by special purpose coatings) / A.V. Kolomeichenko, A.V. Kozlov // Construction and Road Machines. 2013. № 1. Pp. 20–26.

8. Kolomeichenko A.V. Ispol'zovanie nanoporoshkov CuO dlya povysheniya iznosostoykosti podvizhnykh soedineniy detaley mashin s MDO-pokrytiyami (Application of CuO nanopowders to increase wear resistance of sliding joints of machinery parts with microarc oxidation coatings) / A.V. Kolomeichenko, A.V. Kozlov // Works of State Scientific Institution of All Russian Research Technological University. 2013. V. 111. Pp. 169–173.

9. Kolomeichenko A.V. Tekhnologiya povysheniya iznosostoykosti podvizhnykh soedineniy detaley mashin s MDO-pokrytiyami (Technology of wear resistance increase of sliding joints of machinery parts with microarc oxidation coatings) / A.V. Kolomeichenko, A.V. Kozlov // Works of State Scientific Institution of All Russian Research Technological University. 2014. V. 114. Pp. 104–107.

Aleksandr V. Kolomeichenko – PhD (Eng), Prof., Orel State Agrarian University; 302019, Orel, Generala Rodina ul., 69; tel.: (4862) 43-19-79; e-mail: ale-ksvit1610@rambler.ru.

Aleksey V. Kozlov – PhD (Eng), Senior Lecturer; Orel State Agrarian University; 302019, Orel, Generala Rodina ul., 69; tel.: (4862) 43-19-79; e-mail: ale-ksvit1610@rambler.ru.

Received 25 June 2015

УДК 621.886.63

О.А. ЛЕОНОВ, Ю.Г. ВЕРГАЗОВА

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОЕДИНЕНИЙ «ВАЛ-ВТУЛКА СО ШПОНКОЙ»

Рассмотрены вопросы надежности и точности соединения «Вал–втулка со шпонкой». Изнашивание соединений происходит вначале по цилиндрической поверхности вала и втулки, в результате чего увеличивается зазор, появляются биения и сдвиги в посадке, начинается износ и пластические деформации шпонки и ее пазов. Приведена зависимость для определения допуска посадки соединения по модели параметрического отказа с учетом показателей износостойкости и вероятности безотказной работы. Относительная износостойкость может быть определена по формуле, включающей в себя относительную износостойкость отверстия и вала, а также коэффициент, учитывающий отношение скорости процесса старения вала к скорости процесса старения отверстия. Использование классической методики расчета и выбора посадок с натягом для данного вида соединений невозможно, так как