

УДК 621.45.038.7

Е. В. Овчинников, докт. техн. наук., **А. Ч. Свистун**, канд. физ.-мат. наук, доцент,
Е. В. Матук, канд. физ.-мат. наук, доцент, **В. Ч. Белаш**, магистр,
А. Е. Овчинников
(Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь)
Тел./Факс: +375 (152) 684108; E-mail: ovchin@grsu.by

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ ПО БЕСКОНТАКТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В статье рассмотрены триботехнические характеристики электроискровых покрытий (ЭИЛ), сформированных по бесконтактной технологии. Данный технологический подход позволяет уменьшить дефектность формируемых ЭИЛ покрытий, а также получать антифрикционные слои из непроводящих материалов, в частности из оксидной керамики. Исследовали покрытия различной природы происхождения, полученные на титановых субстратах. Установлено, что формирование многокомпонентных и многофункциональных электроискровых покрытий при взаимодействии плазмы низковольтного разряда с порошковыми материалами позволяет получить защитные слои с высокими антифрикционными свойствами, обеспечивающими снижение значений коэффициента трения на 30-35% и интенсивности изнашивания в 1.5-2 раза по сравнению с исходным материалом VT1-0.

Ключевые слова: покрытие, плазма, морфология, трение, титан.

Y. V. Auchynnikaŭ, A. Ch. Svistun, E. V. Matuk, V. Ch. Belash, A. Y. Auchynnikaŭ

TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF ELECTROSPARK COATINGS FORMED USING NON-CONTACT TECHNOLOGY

The article examines the tribological characteristics of electrospark coatings (ESCs) formed using non-contact technology. This technological approach makes it possible to reduce the defectiveness of coatings formed by ESA, as well as to obtain antifriction layers from non-conducting materials, in particular from oxide ceramics. Coatings of various origins obtained on titanium substrates were studied. It has been established that the formation of multicomponent and multifunctional electrospark coatings during the interaction of low-voltage discharge plasma with powder materials makes it possible to obtain protective layers with high antifriction properties, ensuring a reduction in the friction coefficient by 30-35% and wear rate by 1.5-2 times compared to the original material VT1 -0.

Key words: coating, plasma, morphology, friction, titanium.

1. Введение

Применение твердых и сверхтвердых покрытий на основе соединений титана, алюминия, азота, формируемых методами электроискрового легирования позволяет существенно улучшить триботехнические характеристики модифицируемых металлических субстратов [1, 2]. Одним из перспективных направлений развития машиностроительной отрасли является использование аддитивного производства. В настоящее время под аддитивными технологиями подразумевается процесс изготовления, который основан на создании физического объекта по электронной геометрической модели путем добавления материала как правило, слой за слоем, в отличие от вычитающего субтрактивного производства (механического производства) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки) [3]. Однако понятие аддитивности и аддитивных технологий в технике использовались задолго до появления 3D принтеров и ГОСТа Р 57558-2017 «Аддитивный технологический процесс. Базовые принципы. Часть 1 Термины и определения», который является переводной версией американского стандарта ISO/ASTM 52900я:2015. В настоящее время в технологии производства различного вида изделий идет процесс совместного

использования традиционных технологий и технологий, которые относят к аддитивным согласно ГОСТа Р 57558-2017. Данные объединенные технологические процессы также относят к аддитивным технологиям. Необходимо отметить, что в определениях понятий «аддитивность» и «технологический процесс», имеющих в специализированной научной литературе (ГОСТах, справочниках, учебниках, энциклопедических словарях и т.п.) нет того, что они применимы только в случае «.....создания физического объекта по электронной геометрической модели путем добавления материала.....». Поэтому термины «аддитивные технологии» или «аддитивное производство (аддитивный технологический процесс)» имеют гораздо более широкое значение, чем изложенное в ГОСТе Р 57558-2017 и уже требуют корректировки. В работе [4] рассмотрен процесс создания композиционных покрытий на основе аддитивного производства, сочетающего лазерную наплавку и электроискровое легирование. В результате применения данного методологического подхода было достигнуто увеличение значений твердости аддитивного покрытия на 85%, возросла стойкость модифицированных металлических подложек к усталостным явлениям, достигнуто снижение значений шероховатости поверхности (R_a) на 82%. В связи с изменением прочностных характеристик получаемых покрытий возможно предположить, что применение метода электроискрового легирования, сочетающего в себе способ возбуждения плазменного разряда путем высоковольтного поджига и поддержания разряда низковольтным разрядом, позволит улучшить триботехнические характеристики модифицируемых металлических субстратов [1-8].

Целью исследований является изучение триботехнических характеристик аддитивных покрытий рефракторных металлов, получаемых методами бесконтактного электроискрового разряда при различных технологических режимах.

2. Методика исследований

В качестве объекта исследований использовали образцы титана ВТ1. Защитные слои формировали на оригинальной установке электроискрового легирования, позволяющей осуществить бесконтактный режим формирования покрытий, разработанной в Институте прикладной физики (г.Кишинев, Молдова). Составы и режимы покрытий сформированных покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1. Составы и режимы покрытий сформированных покрытий

№ образца	Состав покрытия	Режим формирования
1	ВТ1 (подложка)	0,3 Дж
2	TiC+Al	0,3 Дж
3	SiO ₂	0,3 Дж
4	TiN	0,3 Дж
5	Al+C	0,3 Дж

Изучение триботехнических характеристик покрытий проводили на машине трения УМТ-200. Схема трибоконтакта «сфера-плоскость», нормальная нагрузка на контртело (сталь ШХ15, Ø 5 мм) сферической формы составляло 30 Н. Время испытаний варьировали от 20 до 40 секунд, что позволяло оценить линейную интенсивность изнашивания с относительной погрешностью не более 10%. Частота вращения сферического контртела 200 оборотов в минуту. Морфологию поверхностей трения изучали методом оптической микроскопии на металлографическом комплексе производства ЗАО «Спектроскопические системы».

3. Результаты исследований

Согласно проведенных исследований формирование ЭИЛ покрытий приводит к снижению значений коэффициента трения в сравнении с исходным субстратом, изготовленным из сплава ВТ1-0 (рис.1). Исходя из полученных данных формирование покрытий на металлическом субстрате приводит к снижению коэффициента трения на 30-35%. Увеличение времени испытаний в два раза до 40 секунд уменьшает значения коэффициента трения до значений 0,86 пары трения ШХ15-ВТ1-0. Для образцов с покрытием наблюдается возрастание значений коэффициента трения до значений 0,8-0,85. Возможно предположить, что при данных временах эксплуатации исследуемых образцов происходит удаление покрытия из зоны трения и наблюдается возрастание значений коэффициента трения до величин характерных, как у исходного субстрата.

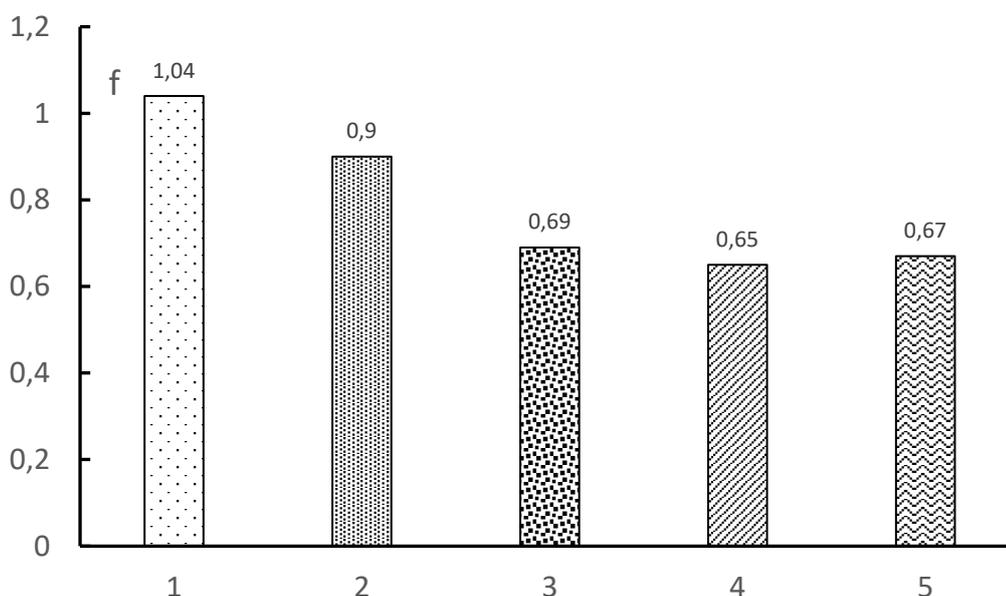


Рисунок 1. Коэффициент трения электроискровых покрытий, сформированных на металлической подложке ВТ1-0. Время испытаний 20 секунд.

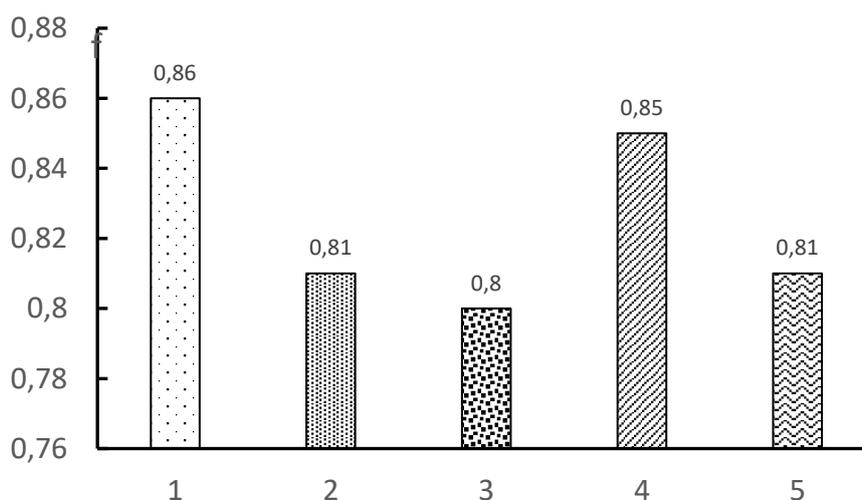


Рисунок 2. Коэффициент трения электроискровых покрытий, сформированных на металлической подложке ВТ1-0. Время испытаний 40 секунд.

Исследование морфологии поверхностей трения металлических образцов с электроискровыми покрытиями показало наличие глубоких полос резания на поверхности металлического субстрата для пары трения «сталь ШХ15-ВТ1-0», что свидетельствует о сильном адгезионном взаимодействии в зоне трения (рисунок 4).

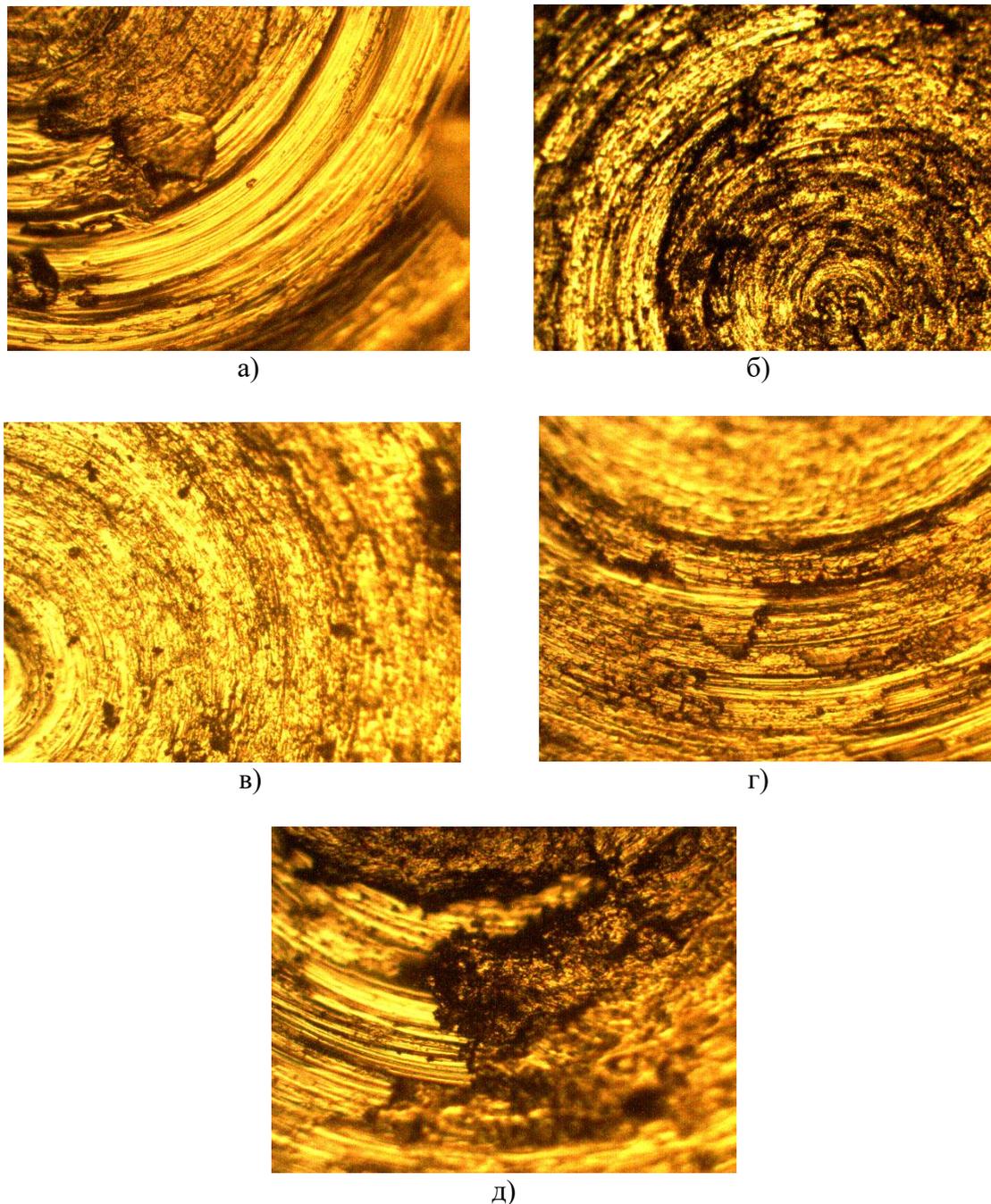


Рисунок 3. Морфология поверхностей трения сплава ВТ1-0 с электроискровым покрытием, время испытаний 20 секунд. а-исходный образец сплав ВТ1-0, б-сплав ВТ1-0 с покрытием ЭИЛ №2, в- сплав ВТ1-0 с покрытием ЭИЛ №3, г-сплав ВТ1-0 с покрытием ЭИЛ №4, д- сплав ВТ1-0 с покрытием ЭИЛ №5. (x100)

Согласно результатам, представленным на рисунке 3 фактически для всех исследуемых образцов с ЭИЛ покрытием, наблюдается наличие защитного электроискрового слоя в зоне трения. Увеличение времени испытаний пары трения ШХ15-ВТ1-0 с покрытием ЭИЛ в два раза приводит лишь к частичному удалению ЭИЛ покрытия с поверхности металлического субстрата.

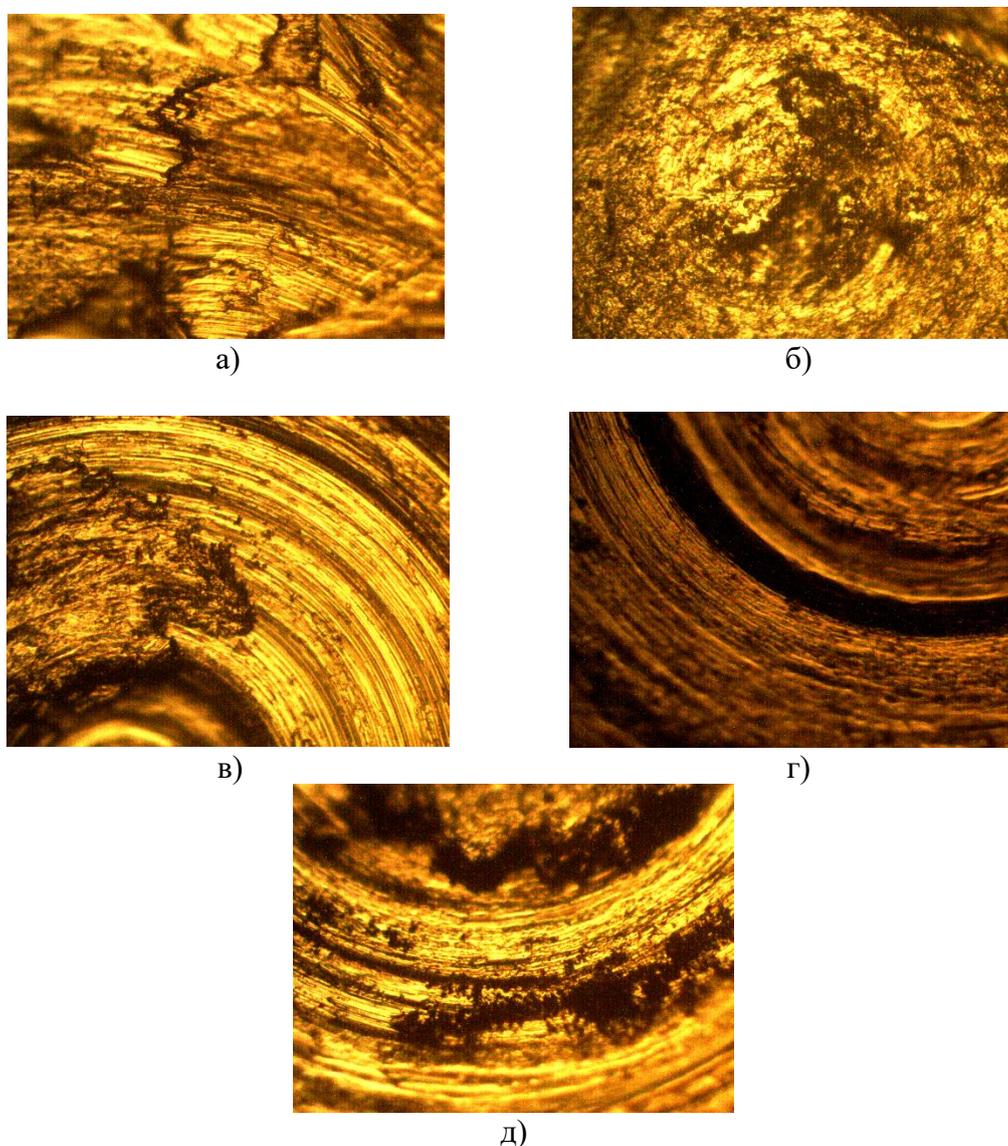


Рисунок 4. Морфология поверхностей трения сплава ВТ1-0 с электроискровым покрытием, время испытаний 20 секунд. а-исходный образец сплав ВТ1-0, б-сплав ВТ1-0 с покрытием ЭИЛ №2, в- сплав ВТ1-0 с покрытием ЭИЛ №3, г-сплав ВТ1-0 с покрытием ЭИЛ №4, д- сплав ВТ1-0 с покрытием ЭИЛ №5. (x300)

Интенсивность изнашивания сплава ВТ1-0 с электроискровыми покрытиями в 1.5 – 2.5 раза меньше, чем у контрольного образца без ЭИЛ покрытий.

4. Заключение

Таким образом, формирование многокомпонентных и многофункциональных электроискровых покрытий при взаимодействии плазмы низковольтного разряда с порошковыми материалами позволяет получить защитные слои с высокими антифрикционными свойствами, обеспечивающими снижение значений коэффициента трения на 30-35% и интенсивности изнашивания в 1.5-2 раза по сравнению с исходным материалом ВТ1-0. Работы выполнены в рамках договора Т22МЛДГ-004, финансируемого БРФФИ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Структура и адгезионные характеристики электроискровых покрытий, получаемых по бесконтактной технологии / В. В. Михайлов [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов. В 3 кн. Кн. 1. Материаловедение: сб. науч. тр. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2023. – С. 206-213.
2. Е. В. Овчинников // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка. В 2 ч. Ч. 2: сб. докладов 13-го Междунар. симпозиума, Минск, 5-7 апр. 2023 г. – Минск: Беларуская навука, 2023. – С. 255-260
3. ГОСТ Р 57558-2017 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы» - С.12.
4. P. D. Enriquea, A.Keshavarzkermania, R.Esmaeilizadeha, S. Peterkin, H. Jahed, E. Toyserkania, N. Y. Zhou Enhancing fatigue life of additive manufactured parts with electrospark deposition post-processing Additive Manufacturing -2020-V.36 – p.1-13.
5. Kazak, N.N.; Mikhaylov, V.V.; Chekan, N.M.; Ovchinnikov, Y.V.; Eysymont, Y.I.; Kovsh, A.A. Korrozionnaya stoykost' i prochnostnyye kharakteristiki nanostrukturirovannykh pokrytiy, poluchennykh metodom elektroiskrovogo legirovaniya. In Proceedings of the International Conference Actual Strength Issues, Vitebsk, Belarus, 25–29 May 2020; pp. 320–322 [ISBN 978-985-6967-44-6.]
6. Овчинников Е. В., Михайлов В. В., Чекан Н. М. Технология синтеза наноструктур при электроискровом легировании в книге: Актуальные проблемы прочности. Монография. Под редакцией В. В. Рубаника. Молодечно, 2020. С. 345-358.
7. Овчинников Е.В. Физико-механические характеристики нанокпозиционных покрытий, формируемых методом электроискрового легирования/ В.В. Михайлов [и др.] // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. Сер 6, Тэхніка. - 2019.- Т.9.- № 2.- С.45-53
8. Katinas, E.; Jankauskas, V.; Kazak, N.; Mikhailov, V. Improving Abrasive Wear Resistance for Steel Hardox 400 by Electro-Spark Deposition. / J. Frict. Wear -2019. – V. 40 – p.100–106, [ISSN 1068-3666].

Поступила в редколлегию 07.02.2024 г.