

3. Афанасьева Л.Е., Раткевич Г.В., Новоселова М.В. Роль структурного фактора в повышении износостойкости Ni-Cr-B-Si покрытия после лазерной обработки // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2019. № 9. С. 55–60.

4. Афанасьева Л.Е., Сахаров К.А. Порошковая лазерная наплавка с помощью многоканального лазера // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2023. Т. 19. № 9. С. 400–404.

5. Balaguru S., Gupta M. Hardfacing studies of Ni alloys: A critical review // *Journal of materials research and technology*. 2021. V. 10. P. 1210–1242.

6. Role of interfacial shear strength in nanotribological behaviour of PTA deposited Colmonoy 6 coating on SS304 steel / V.P. Singh [et al.] // *Materials Letters*. 2023. V. 353. P. 135287.

7. Dashen W.Z. W. B. J., Xin X. M. L., Shiqin L. Effect of Co-Ni-Cr-W and Ni-Cr-B-Si alloy coatings upon the hot corrosion-fatigue resistance of several heat-resisting steels // *Journal of Chinese Society for Corrosion and protection*. 2009. V. 1. №. 4. P. 60–67.

8. Phase transformations in Co-Ni-Cr-W alloys during high temperature exposure to steam environment / J. Zhang [et al.] // *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*. 2018. V. 39. P. 387–400.

9. Измайлов В.В., Новоселова М.В. О влиянии упрочняющей обработки поверхностей трения на ресурс трибосопряжения // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2022. № 3 (15). С. 5–14.

УДК 621.891

Д.А. Зоренко  
Тверской государственный технический университет

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ,  
ПОДВЕРЖЕННЫХ АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ,  
ПУТЕМ НАНЕСЕНИЯ  
ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ МДО-ПОКРЫТИЙ**

© Зоренко Д.А., 2024

*Аннотация.* Описаны варианты применения защитно-декоративных МДО-покрытий на подвергающихся абразивному изнашиванию рабочих поверхностях деталей из алюминиевых и титановых сплавов. Приведены основные триботехнические характеристики таких покрытий. Рассмотрены варианты получения анодно-искровых защитно-декоративных покрытий на титановых сплавах с использованием различных составов электролита.

*Ключевые слова:* микродуговое оксидирование, коэффициент трения, линейная интенсивность изнашивания, титановые сплавы, алюминиевые сплавы, защитные покрытия, декоративные покрытия.

#### **INCREASING THE DURABILITY OF PARTS SUBJECT TO ABRASIVE WEAR BY APPLYING PROTECTIVE AND DECORATIVE MDO COATINGS**

*Abstract.* The variants of the application of protective and decorative MDO coatings on the work surfaces of parts made of aluminum and titanium alloys subjected to abrasive wear are described. The main tribotechnical characteristics of such coatings are given. Options for obtaining anode-spark protective and decorative coatings on titanium alloys using various electrolyte compositions are considered.

*Keywords:* micro-arc oxidation, coefficient of friction, intensity of linear wear, titanium alloys, aluminum alloys, protective coatings, decorative coatings.

В современном машиностроении широко используются детали из цветных сплавов на основе алюминия и титана. Большой процент таких деталей применяется в качестве декоративных элементов технических устройств и функционирует при этом в различных атмосферных условиях, подвергается абразивному изнашиванию. Примером таких деталей могут служить легкосплавные диски легковых и грузовых автомобилей (рис. 1).



Рис. 1. Применение защитно-декоративных покрытий на легкосплавных колесных дисках

Применение сплавов алюминия и титана приводит к снижению расхода топлива, росту полезной грузоподъемности, уменьшению неподрессоренных масс и существенному повышению скоростных характеристик. Кроме того, такие элементы часто работают в условиях повышенных температур, при которых возрастает их химическая активность, а следовательно, весьма желательна дополнительная защита поверхностей. Долговечность и эстетический вид во многом обеспечиваются хорошей защитой видовых поверхностей от воздействия вышеперечисленных факторов.

Одним из основных способов улучшения внешнего вида и долговечности, а также в целом работоспособности таких элементов является нанесение различных защитных и защитно-декоративных покрытий [1, 2], к которым относятся гальванические, лакокрасочные, анодные. Из указанных наиболее перспективными являются анодные, так как имеют наиболее прочную адгезионную связь с защищаемым металлом, высокую износостойкость, в том числе при абразивном изнашивании, низкую активность, что позволяет им выступать в роли высокоэффективных защитных покрытий. Кроме того, при определенном подходе к процессу синтеза возможно получение отличного внешнего вида защищенных деталей (рис. 2).

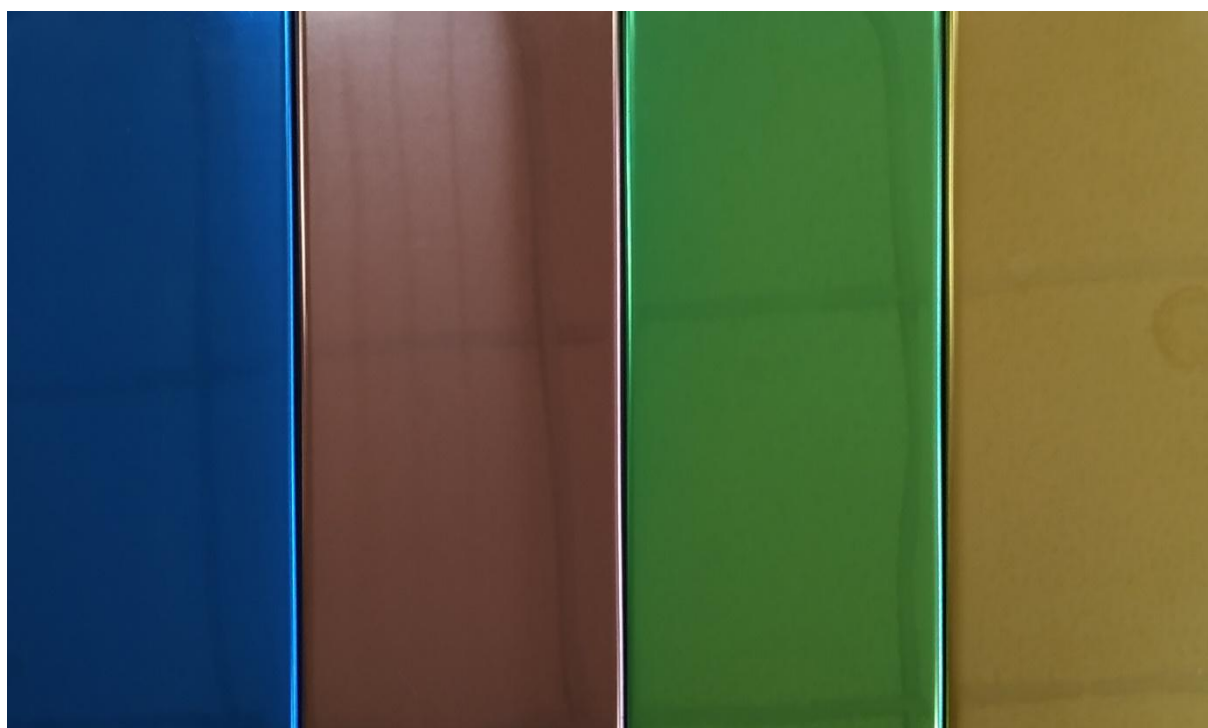


Рис. 2. Защитно-декоративные покрытия на сплавах титана

Анодные покрытия, в отличие от гальванических и лакокрасочных, не требуют тщательной подготовки поверхности перед нанесением.

Синтез анодных пленок с заданными свойствами на металлах анодированием или плазменным осаждением имеет большое практическое значение. Большинство традиционных методов формирования защитных пленок на алюминиевых и титановых сплавах не позволяет получать прочные и при этом эстетически привлекательные покрытия, а соответственно, не удовлетворяет многообразным требованиям современной техники. В связи с этим возникает необходимость разработки новых или малоизученных методик управляемого синтеза неорганических пленок на вентильных металлах. Плазменно-электролитическая анодная обработка металлов в электролитах является одним из таких методов [1, 3, 4]. Особенность его состоит в том, что в одном процессе на металлическом аноде синтезируется материал, компонентами которого выступают составляющие металла и электролита.

В проведенной работе для получения покрытий на титановых сплавах было исследовано четыре состава электролита. Процесс образования покрытия в электролите на основе ортофосфорной кислоты характеризуется хорошей воспроизводимостью и малой длительностью (5–10 мин). При этом в зависимости от времени синтеза возможно получение плотных оксидных пленок с различными цветовыми оттенками (см. рис. 2) без добавления пигментов. На алюминиевых сплавах также реально получение защитно-декоративных покрытий, наиболее работоспособные и эффективные составы электролитов также были подобраны. Отличием от покрытий на титане является необходимость добавления в электролит разноцветных пигментов с целью создания хорошего вида. Без их добавления покрытие не будет эстетичным. Покрытие на алюминиевом сплаве требует большего времени нанесения, однако при этом обладает и большей толщиной и прочностью.

С целью определения износостойкости полученных покрытий были проведены триботехнические испытания на машине трения МТШ-М с модифицированным узлом трения и без смазочного материала. По результатам испытаний полученных покрытий на трение были определены зависимости интенсивности линейного износа от давления в контакте (рис. 3). Представленные графики показывают зависимости интенсивности линейного износа титановых сплавов как с покрытием, так и без него от контактного давления.

Результаты триботехнических испытаний МДО-покрытий на алюминиевых сплавах приведены в предыдущих работах. Триботехнические свойства этих покрытий существенно превосходят свойства покрытий на сплавах титана.

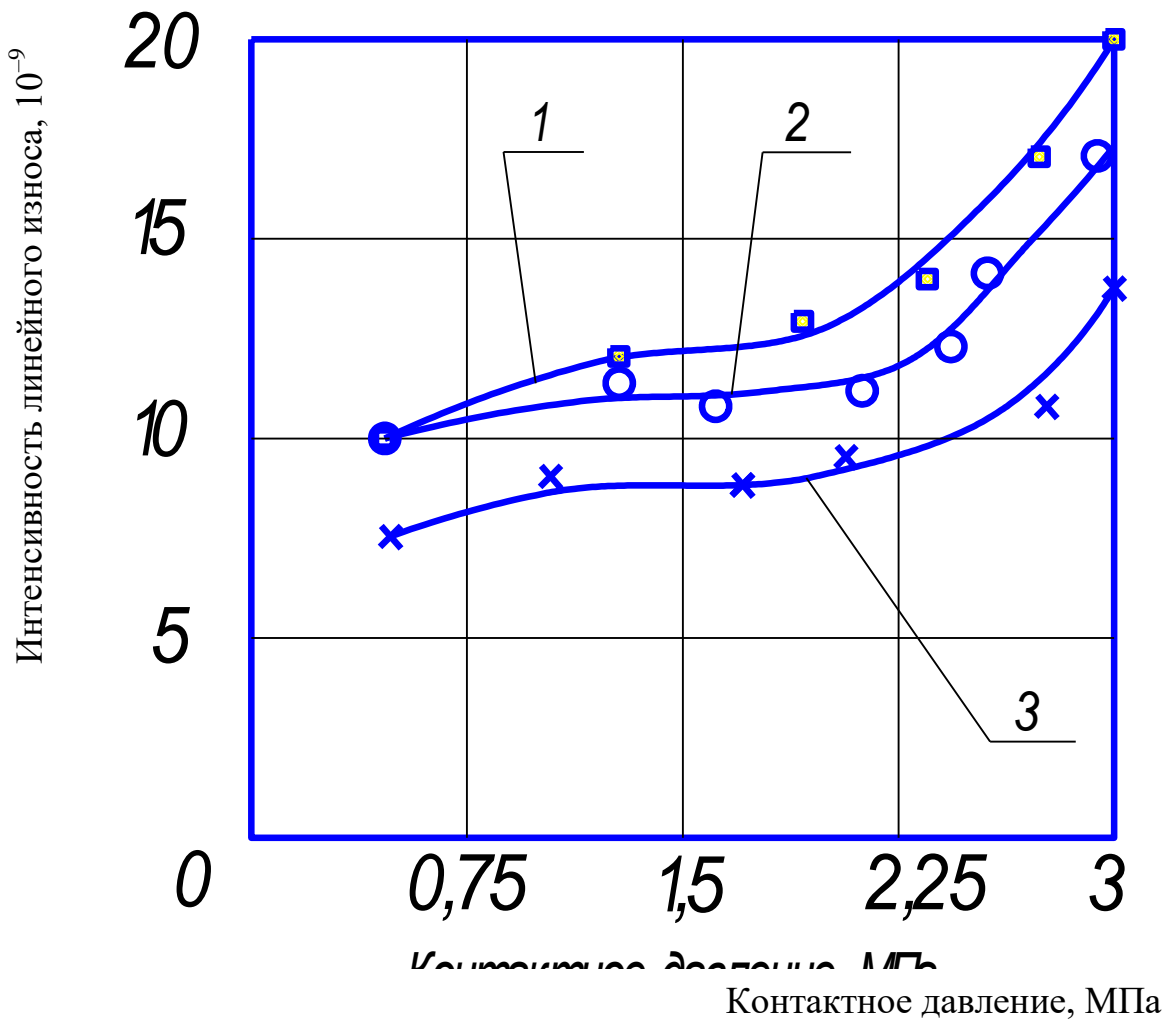


Рис. 3. Зависимость линейной интенсивности изнашивания от контактного давления:  
 1 – линейной интенсивности изнашивания давления детали без покрытия;  
 2 – интенсивности линейного износа покрытия, полученного в электролите на основе буры ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (декагидрат тетрабората натрия));  
 3 – интенсивности линейного износа покрытия, полученного в электролите на основе ортофосфорной кислоты

Таким образом, можно сделать вывод об успешном применении синтезированных покрытий не только в узлах трения, но и для защиты различных, в том числе и декоративных, элементов, работающих в условиях окружающей среды при воздействии абразивных частиц. Кроме того, полученные покрытия просты в синтезировании и не требуют тщательной подготовки поверхности перед нанесением. Они также неплохо удерживают смазочный материал, так как имеют закрытую и открытую пористость. В отличие от чистых сплавов, не схватываются с углеродистой сталью при контактных давлениях выше 3 МПа. Ввиду низкой шероховатости (порядка 0,15–0,30 мкм) могут применяться без

конечной чистовой обработки. Описанные покрытия могут в полной мере считаться защитно-декоративными.

### **Библиографический список**

1. Зоренко Д.А. Повышение износостойкости подвижных деталей выталкивающей системы пресс-форм для литья термопластов под давлением: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04. Тверь, 2004. 155 с.

2. Грилихес С.Я., Евсева Т.А., Соловьева Л.В. Защитно-декоративные покрытия алюминия. Л.: ЛДНТП, 1980. 24 с.

3. Великосельская Н.Д. Повышение долговечности деталей узлов трения подводного нефтепромыслового оборудования посредством поверхностного упрочнения методом микродугового оксидирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04. М., 1989. 190 с.

4. Николаев И.В. Разработка композитного защитно-декоративного покрытия для дизайн-объектов из алюминия и его сплавов: дис. ... канд. техн. наук: 17.00.06. СПб., 2018. 132 с.

УДК 621.548

Д.А. Зоренко  
Тверской государственный технический университет

### **ИЗНОС СТАЛЬНЫХ ОХВАТЫВАЮЩИХ НАПРАВЛЯЮЩИХ СТАНКОВ, РАБОТАЮЩИХ В КОНТАКТЕ С КЕРАМИЧЕСКИМИ МДО-ПОКРЫТИЯМИ**

© Зоренко Д.А., 2024

*Аннотация.* Рассмотрены механизмы и особенности работы стальных деталей в условиях сухого и граничного трения в паре с самосмазывающимися анодно-искровыми покрытиями с частицами дисульфида молибдена и графита. Показана зависимость линейной интенсивности изнашивания от контактного давления.

*Ключевые слова:* трение и износ, твердосмазочные покрытия, анодно-искровое оксидирование, самосмазывающиеся покрытия.

### **WEAR OF STEEL COVERING GUIDES OF MACHINES WORKING IN CONTACT WITH CERAMIC MDO COATINGS**

*Abstract.* The mechanisms and features of the operation of steel parts in conditions of dry and boundary friction paired with self-lubricating anode spark coatings with particles of molybdenum disulfide and graphite are considered. The dependence of the linear wear intensity on the contact pressure is shown.