

УДК 621.793

**М.М. Студент, д-р техн. наук, с.н.с., Т.Р. Ступницький, канд. техн. наук, м.н.с.,
В.М. Гвоздецький, канд. техн. наук, н.с.**

Фізико-механічний інститут імені Г.В. Карпенка.

С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук, О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Вплив поруватості на трибологічні характеристики електродугових покриттів з порошкових дротів

В статті досліджено вплив поруватості на трибологічні та механічні характеристики електродугових покриттів. Визначено, що структурою покриття з порошкових дротів є композит, де чергуються металеві ламелі та ламелі із оксидів, а також пори. Із ростом тиску повітряного струменя розмір структурних складових поверхні покриття та розмір пор зменшується. Встановлено позитивний вплив поруватості на трибологічні характеристики покриттів при терті за граничного навантаження.

електродугові покриття, порошкові дроти, трибологічні характеристики, зносостійкість, поруватість

М.М. Студент, д-р техн. наук, с.н.с., Т.Р. Ступницький, канд. техн. наук, м.н.с.отр., В.М. Гвоздецький, канд. техн. наук, н.с.

Фізико-механічний інститут імені Г.В. Карпенка

С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук, О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Влияние пористости на трибологические характеристики электродуговых покрытий из порошковых проволок

В статье исследовано влияние пористости на трибологические и механические характеристики электродуговых покрытий. Определено, что структурой покрытия из порошковых проволок является композит, где чередуются металлические ламели и ламели из окислов, а также поры. С ростом давления воздушной струи размер структурных составляющих поверхности покрытия и размер пор уменьшается. Установлено позитивное влияние пористости на трибологические характеристики покрытий в условиях граничного трения.

електродугові покриття, порошкові проволочки, трибологічні характеристики, зносостійкість, пористість

Нанесення електродугових покриттів (ЕДП) широко використовується у виробництві та відновленні деталей машин для аграрного виробництва, що досягається застосуванням спеціальних порошкових електродних дротів (ПД) для напилення, які дозволяють підвищити адгезійну міцність, твердість, зносостійкість, триботехнічні і антикорозійні властивості покриттів до рівня плазмових покриттів, але при набагато менших затратах [1...7]. Особливо широко використовують ЕДП для відновлення деталей типу вал (колінчасті та розподільчі вали, поршневі пальці ДВЗ, штоки, вісі, плунжери тощо). Проте недостатньо вивчена структура поверхні шліфованих поверхонь покриттів стримує більш широке застосування цього методу.

Методика випробувань. ЕДП товщиною 1,5 мм наносили серійним електродуговим металізатором ГТ-1 на попередньо оброблену дробоструминною обробкою поверхню як плоских, так і циліндричних зразків зі сталі 12Х1МФ, розпилюючи ПД140Х14Н2Т2Ю та ПД140Х14РЗНТЮ2 діаметром 1,8 мм. Оболонку ПД виготовляли з стрічки зі сталі 08 кп товщиною 0,4 мм і шириною 10 мм. Режими

нанесення покриттів: струм 150 А, напруга горіння дуги 32...34 В. Розпилювали ПД струменем стиснутого повітря під тиском 0,3...0,7 МПа з дистанції 150 мм.

Мікроструктуру та хімічний склад покриттів вивчали на електронному мікроскопі Carl Zeiss EVO XVP 40 з мікроаналізатором INCA.

Фазовий склад покриттів вивчали на дифрактометрі ДРОН-3 за напруги 32 кВ і струму 15 мА з кроком сканування $0,05^\circ$ та з використанням Cu K_α випромінювання.

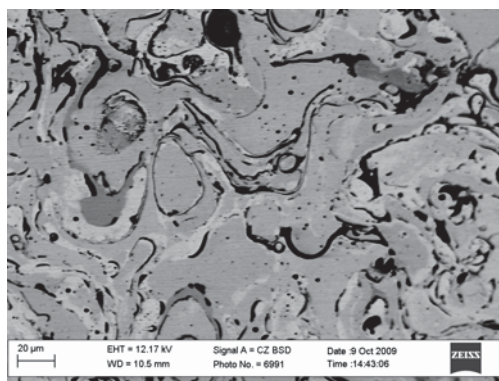
Поруватість покриттів визначали методом гідростатичного зважування на аналітичних терезах марки Kern ABJ 220-4М з точністю вимірювань $\pm 0,0001\text{г}$.

Трибологічні характеристики та зносостійкість покриттів визначали на модернізованій установці СМЦ-2 за схемою диск–колодка (контртіло). Коефіцієнт тертя визначали як за умов сухого тертя, так і граничного мащення в середовищах мастил I-20, M10B2 та 3 % водного розчину емульсолу марки Hydroway 1060. Контактне навантаження становило 2...10 МПа, а швидкість ковзання 0,67 м/с. Покриття товщиною 1,5 мм наносили на циліндричну поверхню дискових ($\varnothing 40$ і шириною 10 мм) зразків зі сталі 45 (28...30 HRC). Після цього зразки шліфували корундовим кругом до $\varnothing 42$ мм. За еталон зносостійкості прийняли гальванічне хромове покриття. Колодки виготовляли з бронзи БрС-30, сірого чавуну СЧ 30, та Бабіту Б16.

Обробку результатів трибологічних досліджень здійснювали шляхом статистичної обробки даних з використанням коефіцієнту Стьюдента за кількості вимірювань $n=5$, з надійністю $P=0,95$.

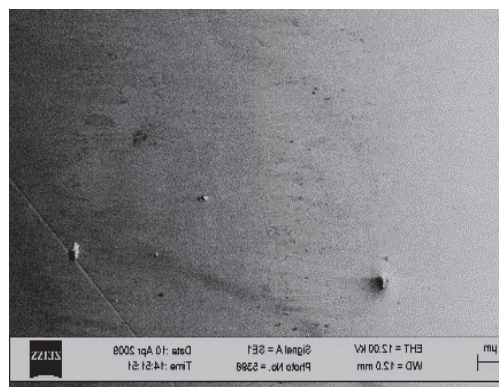
Мікротвердість (HV) структурних складових покриття визначали з використанням мікротвердоміра ПМТ-3 за навантаження 200г.

Структура поверхонь ЕДП після шліфування. На відміну від сталі, поверхня ЕДП має типову композитну структуру, у якій зустрічаються ламелі з різною мікротвердістю: (рис.1,*a*); до 7000-9000 МПа, оксидні фази (таких як оксид заліза з мікротвердістю 7000 МПа та оксид алюмінію з мікротвердістю 20000 МПа), які розташовані переважно вздовж меж ламелей.



Покриття із ПД 140X14H2T2Ю

а



Сталь

б

Рисунок 1 – Структура шліфованої поверхні покриття і сталі

Об'ємна кількість оксидів у ЕДП коливається в межах від 6 до 20 % в залежності від кількості та хімічного складу легувальних елементів. Аналіз одержаних результатів показує, що максимальний вміст оксидів у покритті спостерігається при формуванні шихти із ферохрому та феротитану. Додаток у шихту ПД таких елементів, як Al або Si суттєво зменшує вміст оксидів у покритті, причому змінюється їх хімічний склад. Без додавання у шихту ПД алюмінію або кремнію, оксиди у покритті формуються переважно із хрому, залізовмісних оксидів або їх суміші. При додатку алюмінію та титану у шихту ПД у покритті переважно утворюється суміш оксидів алюмінію та титану за рахунок відновлення інших оксидів, крім титану до чистих елементів. При

додатку алюмінію та кремнію у шихту ПД у покритті переважно утворюються оксиди алюмінію або кремнію за рахунок відновлення всіх інших оксидів до чистих елементів. Після шліфування такого покриття в тих місцях, де є карбіди або оксиди, спостерігали гострі виступи, висота яких над поверхнею покриття становила $\sim 0,5 \dots 1$ μm (рис.1). За умов граничного тертя при високих питомих навантаженнях такі виступи виконують роль ріжучих крайок, що приводить до катастрофічного зношування матеріалу контртіла та виходу із ладу пари тертя. Одночасно, впадини та порожнини на поверхні покриття виконують корисну роль – резервуарів для мастила, яке потрапляє в зону тертя і збільшує товщину граничної плівки мастила.

Із технології оброблювання ріжучим інструментом відомо, що характер взаємодії абразивного зерна (для покриття це виступи карбідів або оксидів над поверхнею) з поверхнею контртіла (в нашому випадку це бронза) залежить від співвідношення h/p (де h – глибина врізання абразивного виступу в поверхню контртіла під час тертя, а p – радіус закруглення виступу). Коли співвідношення $h/p < 0,02$, відбувається тільки пружна взаємодія виступу з поверхнею контртіла з наступним відновленням деформованого шару. Коли ж $0,02 < h/p < 0,7$ на поверхні контртіла утворюються сліди у вигляді доріжок з пластичним витисканням металу до їх країв. Коли ж $h/p > 0,7$, то утворюється мікростружка. На покриттях з ПД (шихта ферохром з графітом), на поверхні яких після шліфування утворюються виступи із карбідів та оксидів заліза (рис.2), мікростружка утворюється за питомого тиску понад 12 МПа.

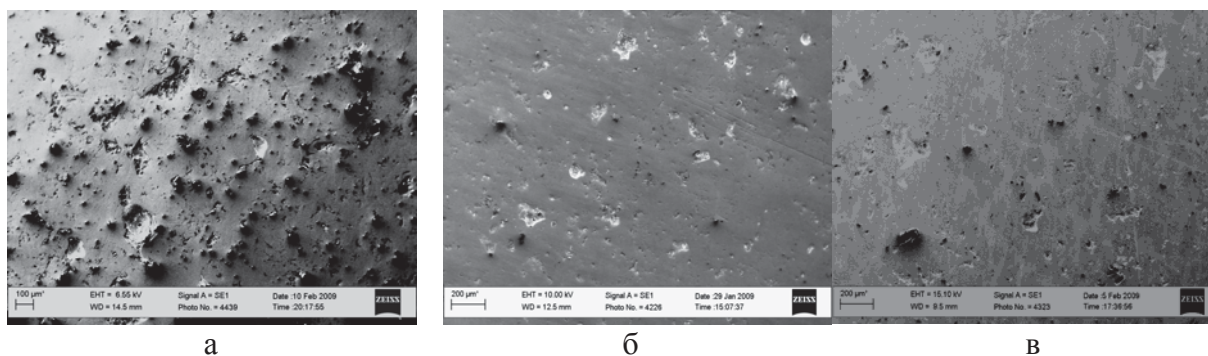


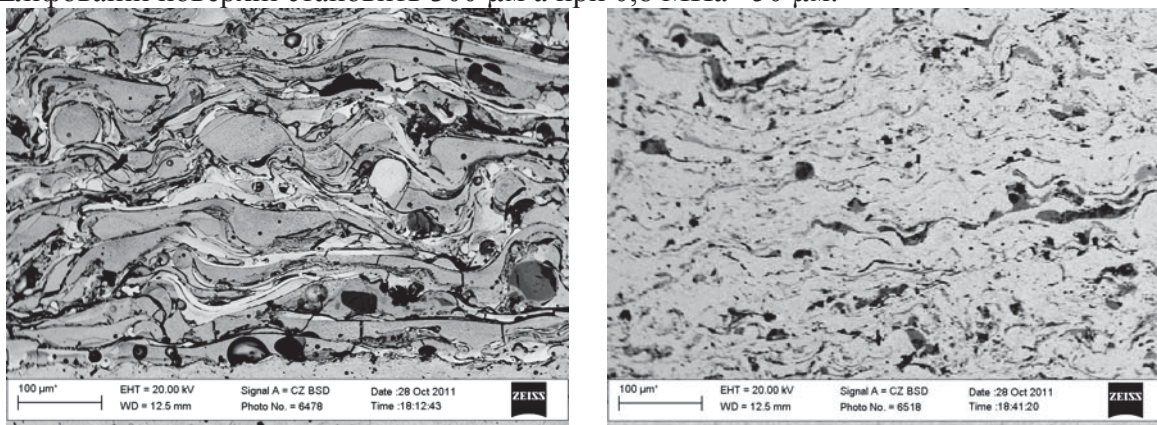
Рисунок 2 – Мікровиступи, утворені карбідами на полірованій поверхні зразків із покриттями з ПД на основі ферохрому ФХ-800 з розміром порошку 300 мкм (а) та ФХ-800 з розміром порошку 50 мкм (б), ЕДП з ПД 140Х14РЗНТЮ2(в)

Як правило, виступають над шліфованою поверхнею карбіди, що входили до складу шихти ПД, які під час плавлення не повністю розчинились у розплаві сталеві оболонки.

Бориди заліза та хрому краще змочуються розплавленим алюмінієм та розплавом сталеві оболонки та утворюють легкоплавкі евтектики із залізом. Тому бориди, що входять до складу шихти ПД, як правило, швидко та повністю розчиняються і внаслідок кристалізації ламелей практично не утворюють мікровиступів на металевій поверхні. Використання порошку карбідів або боридів вищої дисперсності ефективно усуває мікровиступи, зумовлені неповним розчиненням карбідів. Порошок ферохрому з частками менших розмірів швидше розчиняється в розплаві оболонки, утворюючи гомогенний розплав. А саме, із зменшенням діаметру порошку ферохрому від 300 до 50 мкм кількість мікровиступів зменшується в десятки разів.

Вплив поруватості на зносостійкість пар тертя покриття – контртіло. Із збільшенням тиску розпилу повітряного струменя зменшується діаметр краплин, які формують покриття, та, внаслідок цього, зменшується поруватість ЕДП та розмір пор (рис.3, табл.1). Такий факт сприяє зменшенню розміру пор та зменшенню поруватості

покриття в цілому. Так, при тиску повітряного струменю 0,3 МПа середній розмір пор на шліфованій поверхні становить 300 μm а при 0,8 МПа – 50 μm .



а

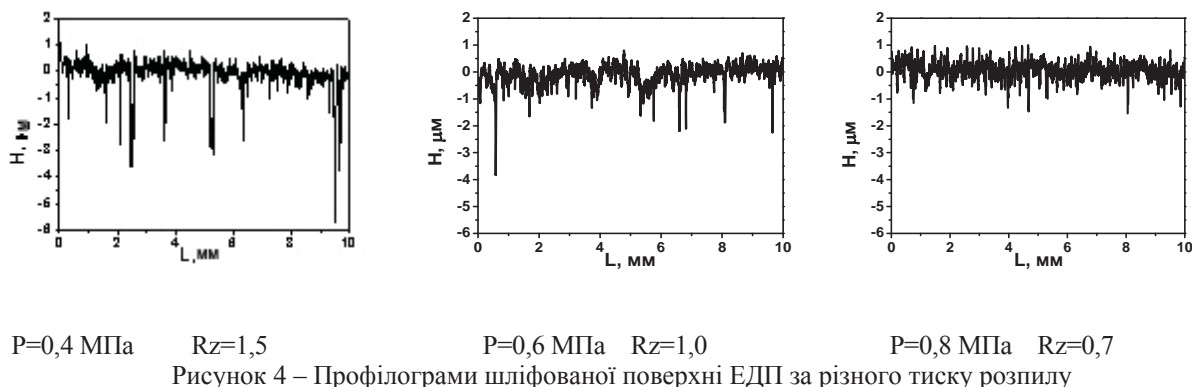
б

Рисунок 3 – Мікроструктура покриття з ПД 140X14, за тиску розпилю 0,4 (а) та 0,65 (б) МПа

Таблиця 1 – Поруватість, структура та властивості ЕДП в залежності від тиску розпилюючого газу

| Тиск, МПа | Розмір пор, мкм | Структура поверхні Оптичний мікроскоп, X50 | Структура поверхні електронний мікроскоп, X50 | Когезивна міцність (σ_B), МПа | Залишкові напруження ($\sigma_{кол}$), МПа |
|-----------|-----------------|--|---|--|---|
| 0,4 | 300 | | | 178 | 41 |
| 0,6 | 70 | | | 220 | 50 |
| 0,8 | 30 | | | 255 | 55 |

Встановлено, що шорсткість зменшується з підвищенням тиску розпилю повітряного струменю під час наплення покриття на сталеву основу (рис. 4).



Так, при збільшенні тиску розпилю повітряного струменя від 0,4 МПа до 0,8 МПа, Rz поверхні ЕДП зменшується більш ніж у два рази від 1,5 до 0,7 μm . При цьому ширина та глибина пор на поверхні покриття суттєво зменшується. Середнє відхилення профілю Ra покриття практично не змінюється (рис.5).

Це говорить про те, що із збільшенням тиску розпилю повітряного струменю чистота поверхні не змінюється в процесі шліфування, зменшується лише ширина та глибина пор.

Для покриттів, що працюють в умовах граничного мащення при терті, така характеристика є позитивною, так як кількість мастила, яке всмоктує покриття, із збільшенням тиску розпилю повітряного струменю суттєво не зменшується, однак опорна крива поверхні такого покриття має більшу несучу здатність (рис.6).

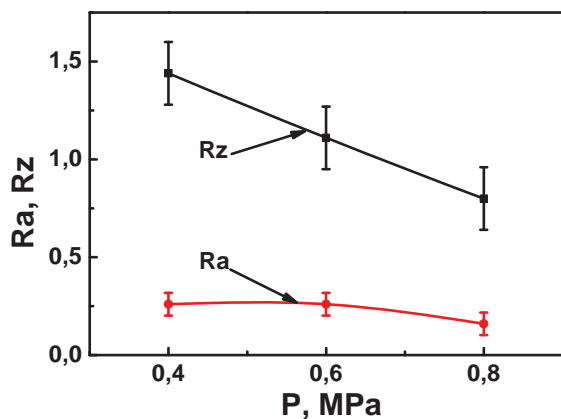


Рисунок 5 – Залежність параметрів шорсткості Ra та Rz від тиску розпилю

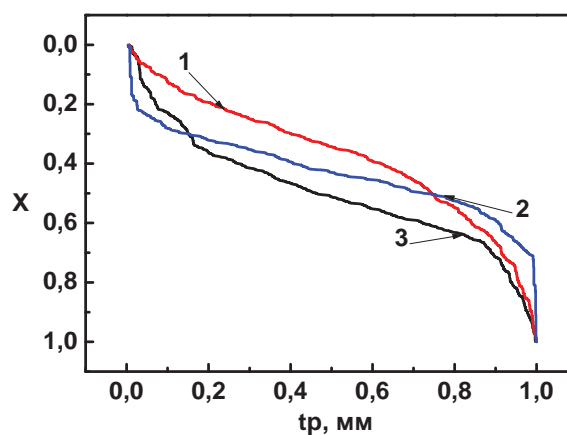


Рисунок 6 – Опорні криві шліфованого ЕДП, 1 - 0,8МПа; 2 - 0,6 МПа; 3 - 0,4 МПа

Поруватість покриттів суттєво впливає на зносостійкість як покриття, так і контртіла. На рис. 7 наведено результати зносостійкості пари тертя покриття із ПД 140X14Н2Т2Ю – контртіло БрС-30 в умовах граничного мащення оливою М14В2 із додатком 2 % кварцового піску з максимальним розміром 100 μm . Із збільшенням розміру пор від 50 до 300 μm зносостійкість контртіла із бронзи БрС-30 зменшується втричі, а покриття на 40 %.

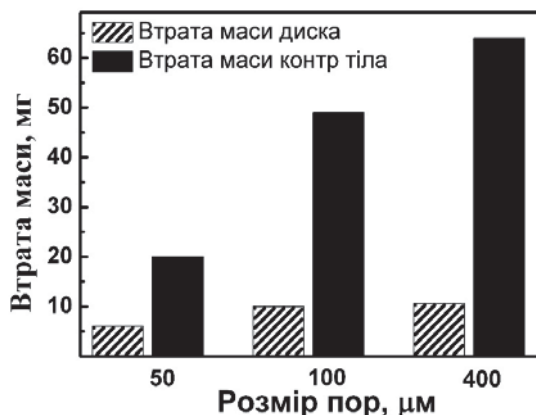


Рисунок 7 – Вплив розміру пор на зносостійкість пари тертя ПД140Х14Н2Т2Ю –БрС-30

Береги пор слугують ріжучими кромками, а самі пори стають не тільки ємностями, де є мастило, а також ємностями, де концентруються крупні фрагменти покриття, які зруйнувались при терті, та частинки абразиву – піску.

На рис. 8. приведено фрагмент мікроструктури покриття де в порах покриття є зрізані частинки бронзи. Це ті причини, які підвищують знос більш м'якого контртіла. Із зменшенням розміру пор у покритті зростають напруження розтягу. Так, якщо при тиску 0,3 МПа величина напружень розтягу не перевищує 40 МПа, то при тиску 0,8 МПа становить більше 100 МПа. Такі високі напруження розтягу можуть привести до утворення магістральних мікротріщин при наступній механічній обробці шліфуванням та руйнуванню покриття.



Рисунок 8 – Мікроструктура ЕДП після випробувань на тертя зношування

Оптимальним вирішенням цієї проблеми є напилення покриттів за різних тисків повітряного струменю. Перший шар покриття напилюється при малому тиску повітряного струменю, що зумовлює утворення незначних напружень розтягу у цьому шарі. Проте такий шар має пори великого розміру та незадовільну зносостійкість. Наступні шари потрібно наносити за більшого тиску повітряного струменю, а робочий шар напилюється за тиску повітряного струменю 0,7-0,8 МПа. Таке градієнтне покриття має понижену величину напружень розтягу та високі трибологічні характеристики.

Висновки:

1. Металографічним аналізом встановлено, що структура шліфованої поверхні покриття це композит, де чергуються металеві ламелі та ламелі із оксидів, а також пори. Із ростом тиску повітряного струменю розмір структурних складових поверхні покриття та розмір пор зменшується.

2. Встановлено позитивний вплив поруватості на трибологічні характеристики покриттів при терті за граничного мащення. Зменшення розміру пор від 300 мкм до 30 мкм підвищує зносостійкість трибопар в три рази.

3. Електродугові покриття градієнтного типу забезпечують високі трибологічні характеристики покриттів при низькому рівню залишкових напружень розтягу в них.

Список літератури

1. Електродугові відновні та захисні покриття / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгунік, Г.В. Похмурська, І.Й. Сидорак. – Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2005. – 190 с.
2. Застосування електродугової металізації порошковими дротами системи Fe-Cr-C-Al для відновлення деталей машин / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгунік, І.Й. Сидорак // Машинознавство. – 1999. – № 1. – С. 13–18.
3. Tribological properties of arc sprayed coatings obtained from FeCrB and FeCr based powder wires / A. Pokhmurska, M. Student, E. Bielanska, E. Beltowska, V. Dovhunyuk // Surface & Coating Technology. – 2002. – V. 151-152. – P. 490-494.
4. Порошковые проволоки систем FeCrB+Al и FeCr+Al+C для восстановительных электрометаллизационных покрытий / В.И. Похмурский, М.М. Студент, В.М. Довгунік, И.И. Сидорак // Автомат. сварка. – 2002. – № 3. – С. 32-35.
5. Структура и трибологические свойства покрытий, полученных методом электродуговой металлизации / В.И. Похмурский, М.М. Студент, И.И. Сидорак, Ю.М. Кусков, И.И. Рябцев, В.М. Довгунік // Автомат. сварка. – 2003. – № 8. – С. 13-17.
6. Возникновение и перераспределение внутренних напряжений в электродуговых покрытиях во время формирования. / В.И. Похмурский, М.М. Студент, В.М. Довгунік, І.Й. Сидорак, Ю.В. Дзьоба, И.А. Рябцев // Там же. – 2006. – № 10. – С.15-20.
7. Effect of high-temperature corrosion on the gas-abrasive resistance of electric-arc coatings / M.M. Student, H. V. Pokhmurska, V.V. Hvozdet'skyi, M.Ya. Holovchuk, M.S. Romaniv // Materials Science. – 2009. – 45, N 4. – P. 481-489.

Mikhail Student, Taras Stupnickiy, Vladimir Gvozdeckiy

Fiziko-mekhanicheskiy institute of the name of G.V. Karpenko.

Sergey Markovich, Aleksandr Mazheyka

Kirovograd national technical university

Influence of porosity on mechanical properties of arc coverages from powder-like wires

The influence of porosity is investigated in the article on mechanical properties of arc coatings. Exposed to research of coatings from different types powder-like. A structure, phase composition, porosity, resistance to the friction, cohesion of coatings depending on pressure of transporting gas, was studied. Determination of coefficient of friction of coatings is exposed to research in the conditions of dry friction and border greasing

It is set, that from powder-like wires the structure of coatings there is a compo, where metallic lamels and lamels alternate from oxides and also pore.

With growth of pressure of air-blast the size of structural constituents of surface of coatings and size of pores diminishes.

Positive influence of porosity is set on mechanical properties of coatings in the conditions of border friction.

Arc coatings of gradient type provide high mechanical properties of coatings at to the low level of remaining tensions of in them.

elektrometal coatings, powder-like wires, mechanical properties, firmness to the wear, porosity

Одержано 11.11.2014