

УДК.521.787.044

Є.К.Солових, проф., д-р техн. наук, В.В.Аулін, проф., канд. фіз.-мат. наук,
А.Є.Солових, доц., канд. техн. наук, С.Є.Катеринич, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград, katerinichs@ukr.net

Підвищення функціональних властивостей гальванічних полімерометалевих покриттів на основі міді при проточному нарощуванні зношених поверхонь

В статті наведені результати досліджень на зносостійкість, тривалість припрацювання
спряжених поверхонь, стійкість до схоплювання композиційних гальванічних покриттів, які містять
фенілон і дисульфід молибдену, а також оптимальні концентрації полімерних частинок в електроліті –
суспензії для формування покриттів з підвищеними фізико-механічними характеристиками.
**композиційні електролітичні покриття, твердозмашувальна плівка, крайовий кут змочування,
поверхнево-активні речовини, дисперсна фаза, механодеструкція полімера, електроліт-суспензія**

Е.К. Соловых, проф., д-р техн. наук, В.В. Аулин, проф., канд. физ.-мат. наук, А.Е. Соловых, доц.,
канд. техн. наук, С.Е. Катеринич, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет, Кировоград
**Повышение функциональных свойств гальванических полимерометаллических покрытий на
основе меди при проточном наращивании изношенных поверхностей**

В статье приведены результаты исследований износостойкости, длительности приработки
сопряжений, стойкости к схватыванию композиционных гальванических покрытий, содержащих
дисульфид молибдена и фенилон, а также оптимальные концентрации полимерных частиц в электролите
– суспензии для формирования покрытий с повышенными физико-механическими свойствами.
**композиционные электролитические покрытия, твердосмазывающая пленка, краевой угол
смачивания, поверхностно-активные вещества, дисперсная фаза, механодеструкция полимера,
электролит-суспензия**

Постановка проблеми. В світовому машинобудуванні сформувався
пріоритетний напрямок – технології поверхневого зміцнення і нанесення
функціональних покриттів.

Можливість створення виробів з унікальним поєднанням властивостей
основного матеріалу і поверхневого шару обумовлює зростаючий інтерес підприємств
машинобудування та інших галузей промисловості до більш широкого використання
цього потенціалу [1].

Одним із перспективних шляхів підвищення функціональних властивостей
поверхонь деталей є створення композиційних матеріалів на основі конгломератів металів
і полімерів, які здатні поєднувати в собі найкращі властивості згаданих речовин [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При відновленні та зміцненні
поверхонь деталей широке застосування знаходять композиційні електролітичні
покриття (КЕП), які являють собою металеву матрицю з відносно рівномірно
розподіленими в ній дисперсними частинками наповнювача. Композиціями
різноманітних матеріалів матриці і дисперсної фази (ДФ) можливо не тільки
отримувати велику кількість різноманітних видів КЕП, але і цілеспрямовано змінювати
покриття згідно заданих умов експлуатації [2, 3, 4].

Особливий інтерес викликають КЕП триботехнічного призначення, тобто зносостійкі і антифрикційні покриття. З цієї точки зору найбільш раціональним є нанесення КЕП проточним електролізом і діаксильним подаванням електроліту – суспензії [7], матрицею у яких є мідь яка володіє високою теплопровідністю, а в якості другої фази використовуються мілко дисперсні порошкові матеріали з високими антифрикційними властивостями [4, 5]. Ефективним способом підвищення надійності і довговічності вузлів тертя машин і механізмів є забезпечення повного розділювання поверхонь тертя деталей мастильною плівкою. Підвищення мастилоутворюючої здатності поверхонь забезпечує надійність їх змащення [5, 6]. Тому викликає велику практичну цікавість дослідження впливу плівок дисульфіда молібдену і фенілону на змащуваність поверхонь тертя мінеральним мастилом.

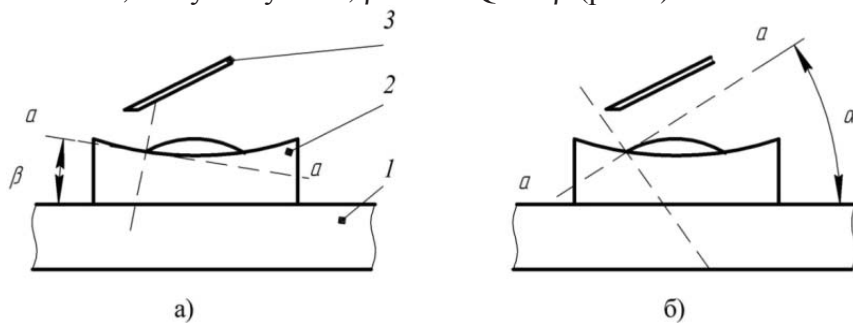
Постановка завдання. В роботі поставлені і вирішувалися наступні завдання:

- вивчення впливу антифрикційних частинок, при різному їх вмісті в покритті, на тривалість припрацювання спряжень і стійкості до зчеплювання;
- порівняльні дослідження зносостійкості КЕП на основі міді та електролітичних шарів «чистої» міді в умовах граничного і сухого тертя.

Методика досліджень. Дослідження проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою «ролик-колодочка» при постійній швидкості ковзання 1 м/с., покриття наносили на зразки із бронзи ОЦС-5-5-5. Із бронзи нарізали колодочки з площею внутрішньої поверхні 1×10^{-4} м². В якості контртіла використовували ролики, виготовлені зі сталі 45 ГОСТ 1050-88 із твердістю 40-45 HRC₃. Температуру поблизу зони тертя фіксували за допомогою термопари типу «ХК» і потенціометра ПСМГ-0,1. Величину зносу при вивченні зносостійкості визначали зважуванням на аналітичних вагах ВЛА-200М з точністю до 10^{-7} кг. через кожні 5×10^3 м. шляху тертя.

Випробування на зносостійкість проводили при постійному навантаженні $P=2,5$ МПа. Визначення критичних навантажень зчеплювання здійснювали ступеневим навантаженням зразків. Вихідне питоме навантаження у всіх випадках – 1,0 МПа. Інтервал навантаження 0,5 МПа. Перехід із одного питомого навантаження до наступного проводився після стабілізації моменту і температури тертя. Такий же порядок навантаження зберігався при визначенні тривалості припрацювання.

Оцінювання змащування поверхонь мінеральним мастилом «чистих» мідних покриттів, плівками дисульфіда молібдену і фенілону проводилося за крайовим кутом змащування Q за допомогою інструментального мікроскопу ММУ. Перед визначенням Q зразки обезжирювалися бензином, спиртом і ацетоном. У якості мінерального мастила використовували мастило М-8Б, яке наносили шприцем, закріпленим під кутом 45° до поверхні зразка. Відстань між скосом голки шприця і зразком вибиралася такою, щоб капля не плющилась а протікала на зразок. Крайовий кут змащування зразків Q визначався, як сума кутів α ; β тобто $Q=\alpha+\beta$ (рис.1).



а – кут β ; б – кут α ; 1 – підставка; 2 – зразок; 3 – голка шприця

Рисунок 1 – Визначення крайового кута змочування поверхонь відривів

Результати досліджень. Проведені дослідження показали, що тривалість припрацювання спряження «покриття-сталь» зменшується при введенні в покриття антифрикційних дисперсних частинок (рис.2). Час припрацювання скорочується зі збільшенням насиченості осадків частинками дисперсної фази, а отже, зони тертя високомолекулярними сполученнями (при використанні фенілону). Інтенсивне скорочення періоду припрацювання спостерігається, завдяки високій молекулярній вазі полімера та малій енергії активації механодеструкції. Продуктами деструкції для фенілона є CO_2 , O_2 , метан, етан, бензол, толуол, ксилол і т.і.

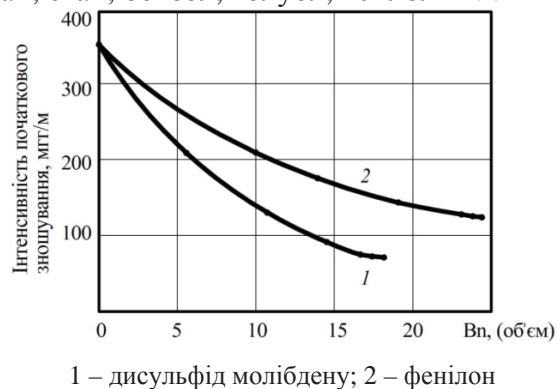


Рисунок 2 – Залежність початкового зношування спряження КЕП – сталь від вмісту ДФ в покритті (V_p)

При збільшенні вмісту в покритті фенілону більш 24% (об'ємн.) інтенсивність зношування практично не змінюється (рис.3).

При введенні у покриття дисульфіда молибдену останній діє подібно поверхнево-активним речовинам (ПАР), що є одним із найважливіших факторів, що полегшують припрацювання, при цьому спостерігається адсорбційне пластифікування поверхневого шару, а також збільшення площі контакту спряжених поверхонь.

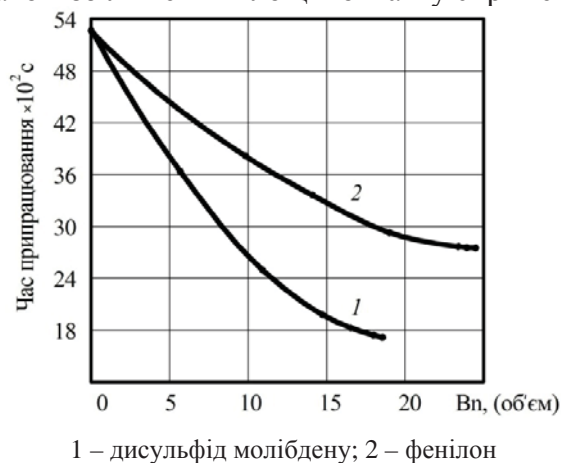


Рисунок 3 – Залежність початкового зношення спряження КЕП – сталь від вмісту ДФ в покритті (V_p)

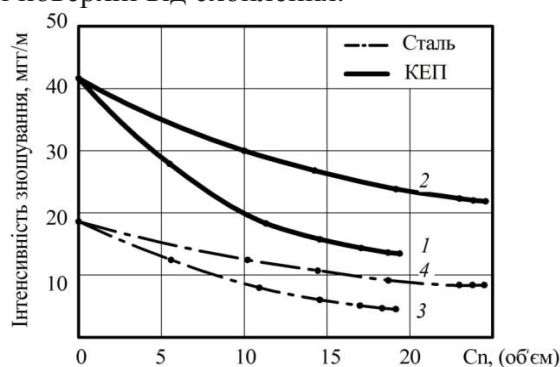
В основі механізму фрикційного переносу при терті полімерометалевих композиційних покриттів має місце їх здатність утворювати змащувальні шари (вторинні структури) на контактуючих поверхнях, які зберігають матеріал контртіла від підвищеного зносу, задирів на контактуючих поверхнях, глибоких виривів і зхоплення, які характерні при терті. Утворення вторинних структур супроводжується механокрекингом полімерів і поступовим переносом продуктів фрикційної взаємодії на контактуючу поверхню завдяки силам адгезії, що визначають час припрацювання пари тертя.

Інтенсивність зношування КЕП на основі міді з включеннями фенілону і сталевим контртілом при випробуванні без змащування (рис.4), коли особливо посилюються деструкційні процеси, різко зменшуються при збільшенні кількості полімеру в покритті до 24% (об'ємн.), а при подальшому підвищенні кількості полімеру в покритті настає стабілізація інтенсивності зношування.

Змащувальна здатність твердих неорганічних мастил (графіт, дисульфід молібдену і т.і.) визначається деякими значними факторами, одним із яких є наявність сприятливої структури.

Для твердих мастил характерна пошарова будова, коли атоми розташовуються у вигляді площинних шарів чи гофрованих паралельних пакетів, які складаються із декількох шарів. Кристалічна структура дисульфиду молібдену складається із пакетів з трьома шарами (шар атомів молібдену розташовується між двома шарами сірки). Зв'язок сірки з металом ковалентний, а зв'язок із сіркою – ван – дер – ваальсовий, який значно слабше ковалентного. Наявність слабких ван – дер – ваальсових сил між шарами – пакетами є одним із головних факторів, що визначають змащувальну дію твердих мастил, а саме, дисульфиду молібдену. Якісне зчеплення плівки з поверхнею металу і легке ковзання пластин забезпечує дисульфиду молібдена високі антифрикційні властивості.

Виявлено, що зносостійкість до схоплення і зносостійкість покриттів з фенілоном і дисульфідом молібдену при граничному терті вище ніж «чистої» електролітичної міді. Результати досліджень свідчать, що найбільш інтенсивно підвищуються антифрикційні властивості КЕП при вмісті 24% (об'ємн.) полімера і 17,5% (об'ємн.) MoS_2 . При подальшому підвищенні об'єму дисперсної фази антифрикційні властивості КЕП підвищуються у незначній мірі. Підвищення стійкості до схоплення і зносостійкості КЕП з полімерними добавками в умовах «сухого» і «граничного» можливо пояснити наступним. Під дією деформаційних і температурних полів, що виникають у процесі тертя, на поверхні покриття з фенілоном генерується тонка полімерна плівка. Поєднання високої теплопроводності мідної матриці і малий супротив зсуву полімерної плівки сприяє зниженню температури у зоні тертя (рис.5) і коефіцієнту тертя (рис.6). Окрім того, внаслідок взаємодії продуктів механодеструкції полімера з поверхнею металу утворюються полімерометалеві з'єднання, які також уберігають контактуючі поверхні від схоплення.



1, 3 – дисульфід молібдену; фенілон – 2

Рисунок 4 – Залежність зношування КЕП (1, 2) і сталевого контртіла (3, 4) від вмісту ДФ в покритті (V_n)

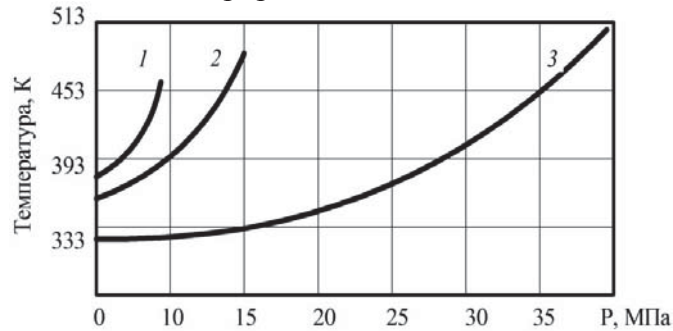
При використанні в КЕП дисульфіда молібдену навіть при невисоких навантаженнях і швидкостях ковзання на металевих поверхнях в місцях фактичного контакту утворюється суцільна плівка [4]. Прямий металевий контакт запобігається завдяки здатності MoS_2 видержувати великі навантаження (вище межі текучості) без

руйнування і в умовах легкого ковзання шарів – пакетів відносно один одного. Температура тертя і коефіцієнт тертя також значно зменшується (рис.5, 6).

Про наявність антифрикційних плівок судили по зміні крайових кутів змочування (рис.1), а також по морфології поверхні тертя «чистої» електролітичної міді. У КЕП з фенілоном і покритті з включеннями дисульфиду молібдену, швидкість розтікання мастила по поверхні КЕП після шліфування, а також і після процесу тертя, вище ніж у «чистої» міді, що свідчить про кращу їх змочуваність, а також напевне говорить про наявність твердозмашувальної плівки.

Дослідження топографії поверхонь тертя покрить які вивчалися показали, що навіть при меншому об'ємі вмісту в покритті дисульфід молібдену плівка займає більшу площу, ніж полімерна.

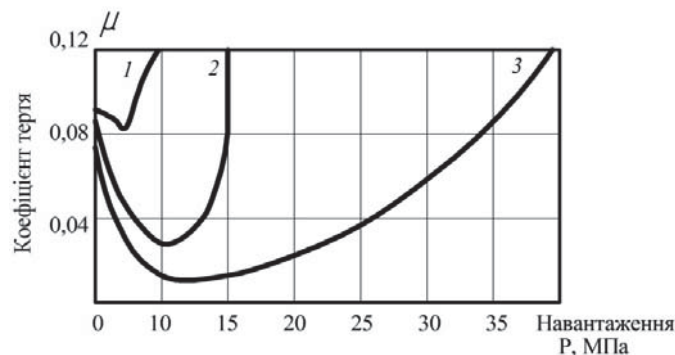
Таким чином встановлено, що зносостійкість КЕП з фенілоном у 2,0...2,2 рази, а з дисульфідом молібдену у 2,9...3,5 рази вище, ніж «чистої» електролітичної міді, це пов'язане з утворенням на поверхні тертя твердозмашувальних плівок, які мають низький супротив зрізанню і забезпечують позитивний градієнт механічних властивостей. Найкраще припрацювання КЕП обумовлене більш швидким пластифікуванням шорсткостей поверхні під впливом продуктів деструкції м'яких включень. Ступінь впливу різноманітних частинок дисперсної фази на антифрикційні властивості покрить визначається природою ДФ.



1 – мідь «чиста»; 2 – мідь – фенілон 24,0% об'ємн.; 3 – мідь – дисульфід молібдену 17,5% об'ємн

Рисунок 5 – Залежність температури у зоні тертя (К) від навантаження (Р) МПа

Дослідження комплексу основних властивостей, що характеризують якість відновлення деталей машин та механізмів антифрикційними електролітичними покриттями на основі міді, що отримані проточним способом з діаксiальним подаванням електроліту – суспензії (ЕС), показали, що оптимальною концентрацією полімерних частинок у ЕС є 20...30 кг/м³ (швидкість подавання ЕС 0,5...0,8 м/с; $C_p \approx 24,5\%$ об'ємн.), а дисульфід молібдену – 80...90 кг/м³ (відповідно $V=0,6...1,0$ м/с; $C_p \approx 17,5\%$ об'ємн.).



1 – мідь «чиста»; 2 – мідь – фенілон 24% об'ємн.; 3 – дисульфід молібдену – 17,5 % об'ємн

Рисунок 6 – Залежність коефіцієнту тертя (μ) від навантаження (Р)

При такому вмісті частинок другої фази в електроліті створюються композиційні покриття, які утворюють конгломерати що забезпечують найбільшу механічну міцність і високі антифрикційні властивості. Подальше підвищення концентрації ДФ у ЕС здається малоефективним, тому що збільшується собівартість відновлення деталей, а поліпшення основних властивостей покриттів є незначним, чи можливо вони можуть погіршуватися.

Висновки:

1. Тривалість припрацювання спряження «КЕП – сталь» зменшується у 2...3 рази, при цьому дисульфід молібдену діє як ПАВ.

2. Інтенсивність зношування КЕП на основі міді з включеннями фенілому і сталевим контртілом при випробуваннях без змащування різко зменшується при підвищенні кількості полімеру в покритті до 24 об'ємн.%, а при подальшому підвищенні його кількості настає стабілізація інтенсивності зношування.

3. Зносостійкість та стійкість до схоплення КЕП з фенілоном у 2,0...2,2 рази, а з дисульфідом молібдену у 2,9...3,5 рази вище ніж «чистої» електролітичної міді.

Список літератури

1. Соловых Е.К. Тенденции развития технологий поверхностного упрочнения в машиностроении. / Е.К.Соловых. – Кировоград: КОД, 2012. – 91с.
2. Ющенко К.А. Инженерия поверхности / К.А.Ющенко, Ю.С.Борисов, В.Д.Кузнецов, В.М.Корж. – К.: НВП Издательство «Наукова думка України», 2007. – 557 с.
3. Харламов Ю.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин / Ю.А.Харламов, И.А.Будагянц. – Луганск: СУНУ ім.Володимира Даля, 2003. – т.1. – 495 с.
4. Терхунов А.Г. Комбинированные металлополимерные покрытия и материалы / А.Г.Терхунов, М.И.Черновол, В.М.Тиунов и др. – К.: Техника, 1983. – 168 с.
5. Сайфулин Р.С. Композиционные покрытия и материалы /Р.С.Сайфулин //М.: Химия. – 1977. – 270 с.
6. Гаркунов Д.Н. Триботехника /Д.Н.Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1989. – 327 с.
7. Наливайко В.Н. Установка для проточного нанесения композиционных электролитических покрытий /В.Н.Наливайко, Е.К.Соловых, А.Е.Соловых // Труды Таврической государственной агротехнической академии. – Мелитополь: ТГАТА, 1999, вып.3. – С.50-54.

Yevgen Solovykh, Viktor Aulin, Andriy Solovyh, Stanislav Katerynych

Kirovograd national technical university

Functional properties increase of galvanic polymetallic copper – based coatings at a flow capacity of worn surfaces

The article contains the results of experiments on the proof to wear, the time of work of connections, the standibility to prasp of compositional electrolytic coverings, which contains the molybdenum disulphide and phenyl, and the optimal concentration of polymeric particles in electrolyte-suspension to form the improve physical-mechanical characteristics.

Undertaken comparative studies of wearproofness of composition electrodeposits on the basis of copper and electrolytic layers of "clean" copper in the conditions of maximum and dry friction. Influence of antifriction particles is studied, at anything their content in coverage on his property.

Shown possibility to get plenty of various types of composition electrodeposits compositions of various materials of matrix and dispersible phase with the purposeful change of their properties in obedience to the set external environments.

composition electrodeposits, solid lubricant tape, regional corner of moistening, surface active substances, dispersible phase, mechanodestruction of polymer, electrolyte-suspension

Одержано 24.04.15