

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА МЕХАНІЧНІ ТА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ

*д.т.н, М. Студент, к.т.н. Т. Ступницький, к.т.н. В. Гвоздецький,
д.т.н, О. Калахан¹, гол. інж. Ю. Дзьоба, студент О. Побережець¹
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України;
¹ Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Значна чисельність деталей машин сільськогосподарського призначення працюють за умов абразивного зношування та підвищених температур, зокрема це деталі для просушування зерна та перероблення рослин [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що за підвищених температур і наявності абразивних частинок час роботи деталей зменшується в рази [1, 2]. Формування продуктів окиснення та видалення їх із поверхні абразивними частинками зменшує товщину деталей та унеможливує її подальше використання. Основні затрати на ремонт і обслуговування техніки складають до 17,2% вартості валової продукції сільськогосподарського виробництва [2]. З цієї суми 71...74% – це закупівля запасних частин і матеріалів, 7,2...10,1% – їх відновлення. При цьому спрацювання 80% деталей не перевищує 0,32...0,41 мм. Більшість із них мають залишковий ресурс 58...63% та придатні до відновлення зношених поверхонь. Аналіз пошкоджених деталей свідчить, що 18...21% з них відновленню не підлягають. Решту можливо відновити, оскільки собівартість відновлення становить 14...72% собівартості виготовлення нових [3, 4].

Постановка завдання. Експлуатація деталей за наявності абразиву зношує їх поверхні. Через зменшення робочої товщини деталей їх подальше використання неможливе. Метою роботи є пошук ефективного методу відновлення поверхонь зношених деталей, які працюють в абразивному середовищі.

Виклад основного матеріалу. Покриття отримували розпиленням електродних порошкових дротів різних марок електродуговим металізатором МЕМ-1 [5]. Технологія нанесення покриття на зразок передбачає його знежирення, струминну обробку корундом, напилювання та контроль якості. Напилювання покриття на зразки проводили при силі струму 100 А; напрузі 32 В; віддалі від сопла до поверхні напилювання 100...110 мм; тиску повітря 0,4...0,7 МПа. Мікрогетерогенність (МГ) покриттів визначали за величиною коефіцієнта мікрогетерогенності (K_{MG}) [6], який характеризує відхилення вмісту кожного з елементів легування в межах окремої ламелі c_i від його вмісту у покритті. Загалом коефіцієнт K_{MG} свідчить про повноту сплавлення шихти та оболонки [7]. Когезійну міцність покриттів [8] визначали на трубчатих зразках, які складаються з двох половинок. На бічну поверхню зразка наносили покриття товщиною 1...1,2 мм. Міцність покриття на розрив σ_B , визначали як відношення навантаження в момент розриву до розрахованої площі. Внутрішні напруження у покриттях заміряли за стандартною методикою на розрізаному кільці.

Механічні характеристики покриттів, які значно залежать від їх хімічної неоднорідності, характеризували коефіцієнтом мікрогетерогенності (K_{MG}), який дозволив визначити відхилення вмісту легувальних елементів в окремих ламелях від інтегрального вмісту в покритті.

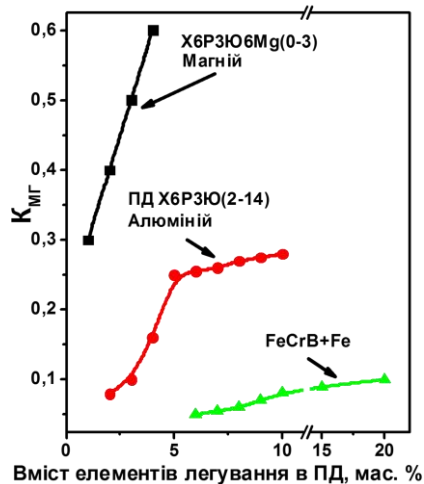


Рис. 1. Вплив кількості елементів легування у ЕДП на K_{MG} .

Значення коефіцієнта K_{MG} визначає структуру покриттів. Якщо компоненти шихти та оболонка сплаваються повністю, то утворюється гомогенне покриття, K_{MG} прямує до нуля. Коли компоненти шихти та сталеві оболонка повністю не сплаваються, то формується композиційне покриття (одні ламелі покриття формувалися зі слаболегованого розплаву сталеві оболонки, інші – з розплаву шихтових матеріалів). При цьому значення K_{MG} покриття з такою структурою наближається до 0,6. Магній і алюміній у шихті ПД найбільше впливають на величину K_{MG} (рис. 1). В зоні плавлення ПД магній випаровується та утворює тугоплавкі дисперсні оксиди MgO ($T_{пл} = 2900^{\circ}C$), які осаджуються навколо частинок шихтових матеріалів і так блокують сплавлення шихти та сталеві оболонки.

Покриттям із ПД, шихта яких містить магній, властива дуже висока МГ. Шихтові матеріали недостатньо повно сплаваються з розплавом сталеві оболонки. У структурі покриття переважають ламелі ферохромбору, слаболегованих алюмінієм. Утворюються також ламелі зі сталеві оболонки, які слаболеговані алюмінієм і хромом. За наявності в шихті ПД порошку алюмінію, дисперсністю 40 мкм в кількості до 40 мас.% (це відповідає 6 мас.% в ПД), K_{MG} покриття дещо перевищує 0,25 (див. рис. 1).

Для покриттів із малою мікрогетерогенністю, релаксація напружень, що виникають при їх напиленні та охолодженні до кімнатної температури, відбувається шляхом утворення сітки мікротріщин (рис. 2), що знижує когезивну та адгезивну міцності.

У гомогенному покритті ($K_{MG} = 0,1$) з ПД 70Х6Р3Ю2 при напиленні утворюються мікротріщини (рис. 2), тому його міцність на розрив низька (80 МПа). З підвищенням мікрогетерогенності покриттів, релаксація залишкових напружень розтягу відбувається шляхом пластичної їх деформації в ламелі покриття з малим вмістом легувальних елементів, що зумовлює, відповідно, їх невисоку мікротвердість.

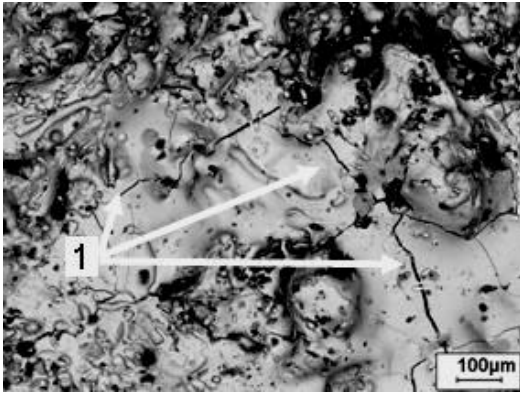


Рис. 2. Сітка мікротріщин у структурі покриття з ПД Х6РЗЮ2
1 – сітка мікротріщин.

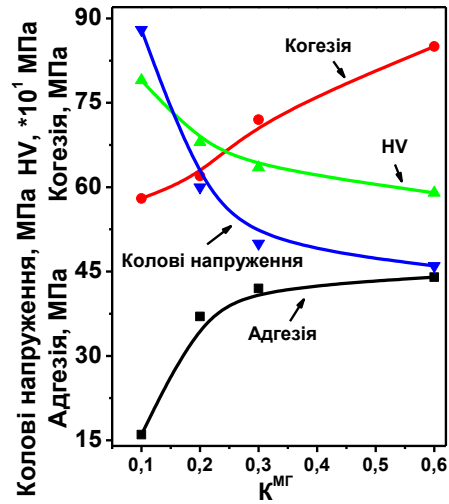


Рис. 3. Залежність механічних характеристик покриттів від мікротетерогенності.

Зростання мікротетерогенності покриттів, зумовлює ріст їх когезивної та адгезивної міцності, тоді як мікротвердість і напруження розтягу у них зменшуються (рис. 3).

У гомогенних покриттях ($K_{MG} = 0,1 \dots 0,25$) залишкові напруження розтягу вищі або рівні когезивній міцності (58...62 МПа) (рис. 3), що спричинює зародження мікротріщин (рис. 2). Із збільшенням чисельності легувальних елементів у шихті порошкового дроту зростає неоднорідність ламелей за хімічним складом: гетерогенність ($K_{MG} = 0,3 \dots 0,6$) порівняно з гомогенними ($K_{MG} = 0,1 \dots 0,25$), залишкові напруження розтягу релаксують у пластичні ламелі покриття з твердістю 400...500 HV. Мікротріщини у таких покриттях не утворюються, їх когезивна міцність зростає до 75...85 МПа.

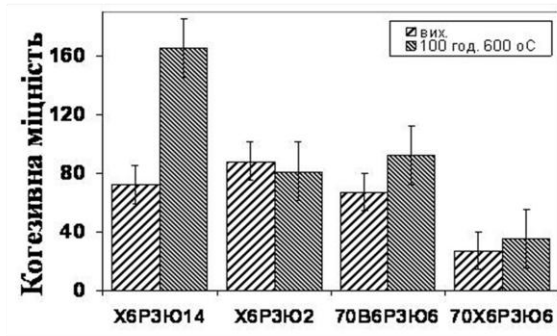


Рис. 4. Вплив температури на когезивну міцність.

Після витримки 100 год. за температури 600°C когезивна міцність покриттів, в яких при напиленні утворились мікротріщини (X6P3Ю2), зменшується з 85 до 70 МПа (рис. 4).

Здебільшого ширина мікротріщин, утворених при напиленні покриття, 2...10 мкм і, в багатьох випадках, це магістральні мікротріщини, які збільшуються під час навантаження покриття. За тривалого витримування (100 год. за температур понад 400°C) мікротріщини заповнюються

продуктами газової корозії, стають непроникними для атмосферного кисню. Однак такі

оксида не можуть міцно з'єднати береги заповнених тріщин, утворених при напиленні чи внаслідок різних коефіцієнтів термічного розширення основи та електродугового покриття.

Когезивна міцність покриттів без мікротріщин, після тривалого витримування (100 год.) за температури 600°C, суттєво зростає. Найбільше (від 70 до 160 МПа) для покриттів із ПД з підвищеним вмістом алюмінію. Це зумовлено утворенням у них каркасу з оксидних плівок на основі алюмінію товщиною до 100 нм, які розташовуються порожнинами і на границі між ламелями покриття. Плівки такої товщини мають підвищену міцність, покриття набуває композиційної структури (ламелярна структура зміцнена тонкими оксидними плівками на основі алюмінію).

Після витримування впродовж 3000...4000 год. за температури 600°C мікротвердість покриттів зменшується та стабілізується (рис. 5). Це зумовлено коагуляцією боридної фази до розмірів 200...500 нм, яка вже некогерентно зв'язана з матричною фазою. Значне зниження твердості покриттів із ПД 70В6Р3Ю6 пов'язано зі значною ліквідацією вольфраму та утворенням виділень вільного бору в ламелях збіднених на вольфрам. Підвищення температури випробовувань зменшує гарячу мікротвердість покриття з ПД Х6Р3Ю6 від 650 НV до 450 НV (рис. 5). Це відбувається внаслідок коагуляції та збільшення розмірів дрібнодисперсних боридів і інтерметалідів у покритті. Для покриття з ПД Х6Р3Ю6 після експозиції 100 год. за температури 600°C гаряча мікротвердість дещо менша, ніж після напилення, що спричинено укрупненням боридів і інтерметалідів. Мікротвердість сталі з підвищенням температури зменшується від 240 НV до 150 НV.

Тривала експозиція зразків за температури 600°C суттєво зменшує залишкові напруження розтягу в покриттях, які трансформуються у напруження стиску (рис. 6). Визначено два часових етапи за якими відбувається трансформація напружень розтягу у покриттях.

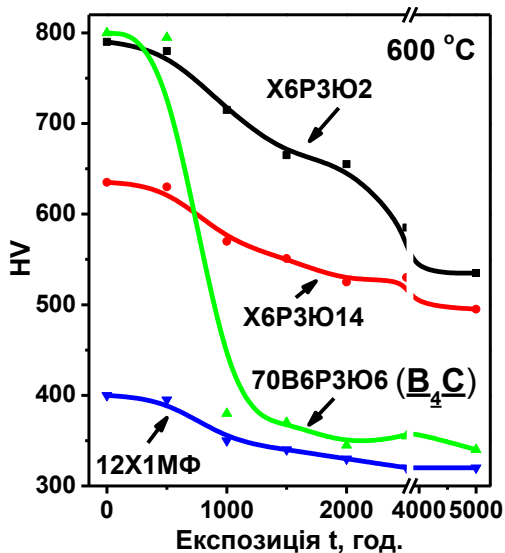


Рис. 5. Вплив часу експозиції за температури 600°C на мікротвердість покриттів.

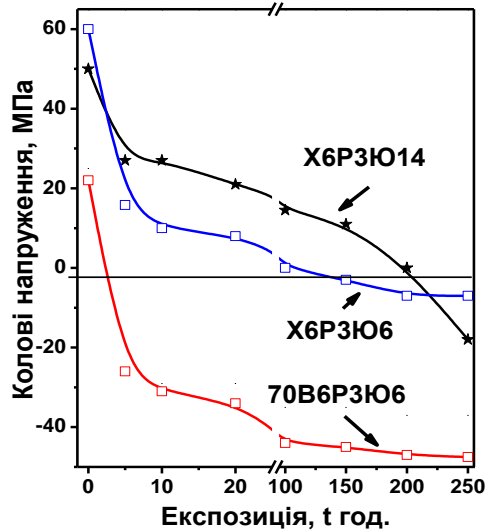


Рис. 6. Вплив часу експозиції на рівень залишкових напружень електродугових покриттів.

На першому етапі (тривалість до 10 год.) зменшення напружень відбувається через розпад аустеніту в структурі покриття. На другому етапі (після 10 год. витримання), напруження стиску формуються внаслідок внутрішнього ламелярного окиснення покриття.

Збільшення об'єму покриття з мікротріщинами відбувається через заповнення їх та міжламелярного простору оксидами, на противагу покриттю з ПД Х6Р3Ю14, в якому залишкові напруження релаксують у пластичні ламелі. Розрахунок колових напружень із врахуванням визначеного модуля пружності ЕДП уможливило визначення реального рівня напружень у покриттях.

Для з'ясування впливу міжламелярного окиснення покриттів на зносостійкість випробувано напилений і ненапилений матеріал однакового складу (сталь 12Х1МФ) (рис. 7). Досліджено абразивну зносостійкість зразків без і з покриттям суцільним дротом 15Х1МФ товщиною 650...700 мкм після шліфування їх поверхні. Встановлено, що за температур від кімнатної до 400°C зносостійкість покриття суттєво менша.

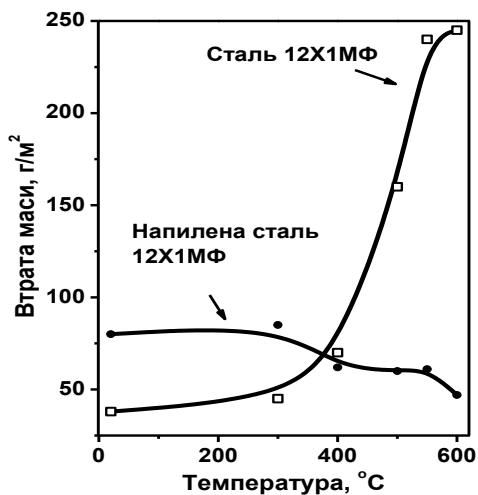


Рис. 7. Вплив структури матеріалу на опір абразивному зношуванню.

Це зумовлено тим, що ламелі покриття розділені між собою оксидними плівками та пористістю покриття (пористість покриття 8...10%) та містять напруження розтягу, які відсутні в сталюму зразку. За температур випробовувань понад 400°C опір зношуванню сталі суттєво зменшується, тоді як напильного покриття зростає. Така поведінка сталі спричинена формуванням на її поверхні оксидної плівки, яка за морфологією голкоподібної форми та слабо зв'язана з поверхнею.

Висновки. Вибір та розрахунок складу шихти порошкового дроту забезпечують напильнення покриттів із необхідними властивостями без проведення попередніх експериментальних досліджень.

За підвищених температур напруження розтягу покриття зменшуються та впродовж тривалих витримок, через утворення внутрішніх оксидів між ламелями, трансформуються у напруження стиску, що підвищує когезивну міцність. Відновлення поверхонь зношених деталей покриттями зменшує вартість ремонтних робіт, продовжує терміни роботи деталей із покриттями внаслідок утворення за умов експлуатації на поверхні та між ламелями покриттів продуктів газової корозії.

Бібліографічний список

1. Дослідження ефективності застосування триботехнічних відновлювальних сумішей на різних конструкціях трибосистем / В. А. Войтов, А. П. Білик, В. В. Сторожук, В. О. Мазепа // Проблеми трибології. – 2007. – № 1. – С. 99–103.
2. Ремонт машин / О. Сідашенко, О. А. Науменко, А. Я. Поліський та ін. – К. : Урожай, 1994. – 464 с.
3. Харламов Ю. О. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин: учеб. пособие в 2 т. // Ю. О. Харламов, Н. А. Будагьянц. – Луганск: Изд-во Восточно-укр. нац. ун-та им. В. Даля, 2003.
4. Восстановление деталей машин: справ. / Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Иванов, В. М. Константинов; Под ред. В. П. Иванова. – М. : Машиностроение, 2003. – 672 с.
5. А. с. №1657230 СССР, МКИ В 05 В 7/22. Распылительная головка к электрометаллизатору / В. И. Похмурский, М. М. Студент, В. С. Пих, М. А. Тыхан. Опубл. 23.06.91. Бюл. № 23. – 3 с.
6. Студент М. М. Вплив будови електродугових покривів з порошкових дротів на їх властивості / М. М. Студент // Машинознавство. – 2010. – № 5(155). – С. 16–20.
7. Студент М. М. Жаростійкість та газоабразивна зносостійкість електродугових покривів з порошкових дротів / М. М. Студент // Машинознавство. – 2009. – № 12. – С. 23–29.
8. 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.

М. Студент, В. Гвоздецький, Т. Ступницький, О. Калахан, Ю. Дзьоба, О. Побережець. Вплив температури на механічні та трибологічні властивості покриттів.

Досліджено вплив шихти електродних матеріалів на структуру покриттів під час їх нанесення методом електродугової металізації. Визначено вплив шихтових матеріалів та підвищеної температури на фізико-механічні властивості покриттів. Показано позитивний вплив внутрішнього окиснення на механічні властивості покриттів. Виявлено, що на поверхні сталі формуються оксидні плівки, які не є стійкими до абразивного зношування, а на поверхні напиленого покриття такі плівки мають вищий опір до зношування.

Ключові слова: електродугові покриття, ламелі, оксидні плівки між ламелями, мікрогетерогенність, композиційна структура.

M. Student, T. Stupnytskyi, V. Gvozdetskiy, O. Kalakhan, Y. Dzoba, O. Poberezhets. Influence on the temperature mechanical and tribological properties of coatings.

The effect of the charge on the electrode material coating structure during its deposition method electric metallization. The influence of the charge materials and high temperature on the physical mechanical properties of the coating. Positive influence of internal oxidation of the mechanical properties of coatings. Found that the steel surface oxide film formed that are not resistant to abrasive wear and sprayed coatings on such films have a higher resistance to wear.

Keywords: Electric arc coating lamellae, oxide film between the lamellas, mikroheterohennist compositional structure.

М. Студент, В. Гвоздецкий, Т. Ступницкий, О. Калахан, Ю. Дзьоба, О. Побережец. Влияние температуры на механические и трибологические свойства покрытий.

Исследовано влияние шихты электродных материалов на структуру покрытий при их нанесении методом электродуговой металлизации. Определено влияние шихтовых материалов и повышенной температуры на физико-механические свойства покрытий. Показано положительное влияние внутреннего окисления на механические свойства покрытий. Вывявлено, что на поверхности стали формируются оксидные пленки, которые не являются устойчивыми к абразивному износу, а на поверхности напыленных покрытий такие пленки имеют более высокое сопротивление к износу.

Ключевые слова: электродуговые покрытия, ламели, оксидные пленки между ламелями, микрогетерогенность, композиционная структура.