

7. Швайкова М.Д. Токсикологическая химия. –М.: Медицина, 1975.
8. Щербина О.М., Данильчук А.В. Токсичність вогнегасних речовин (галоїдовуглеводнів). Пожежна безпека, Львів, 2002, №2
9. Щербина О.М., Попович В.В. Реакції ідентифікації деяких галогеновуглеводнів. Пожежна безпека, ЛПБ Укр. НДІПБ МВС України, 2003, №3

УДК 620.178.162

*Козуб В.В., Ренкас А.Г. (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)  
Керницький І.С., д.т.н., професор (Національний університет "Львівська політехніка")*

### **ЗНОШУВАННЯ БОРИДНОГО ЕВТЕКТИЧНОГО ПОКРИТТЯ В КОРОЗІЙНО-АБРАЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

Вивчена зносостійкість евтектичного покриття в корозійно-абразивному середовищі з  $pH$  7,4 при різних навантаженнях та швидкостях ковзання. Покриття може бути використано для підвищення довговічності деталей сільськогосподарських машин, пожежно-аварійної техніки та інших елементів конструкцій, які працюють на зношення в нейтральних корозійно-абразивних середовищах.

Відомо [1], що дифузійні покриття зі структурою боридів, карбідів хрому, нітридів титану, нанесені на поверхню деталей, що виготовлені із середньовуглецевої сталі, характеризуються високою поверхневою твердістю, яка досягає 14...18 ГПа. Застосування таких покриттів для поверхневого зміцнення деталей, які зношуються в умовах тертя ковзання в середовищі абразиву, значно підвищує їх зносостійкість при навантаженнях до 3 МПа та швидкостях ковзання до 0,8 м/с. Зі збільшенням навантаження в зоні контакту тертя виникають значні локальні напруження від абразивної частини. Дифузійні шари, що характеризуються незначною товщиною, яка знаходиться в діапазоні 20...150 мкм, не можуть витримати такого навантаження і інтенсивно руйнуються.

Застосування дифузійних покриттів для поверхневого зміцнення деталей машин, які працюють в умовах тертя ковзання в корозійно-абразивних середовищах з  $pH$  7,4, також має обмежене використання внаслідок електрохімічних процесів, що виникають у поверхневих дифузійних шарах [2]. Корозійна дія обумовлена структурою покриття. Дифузійні шари не є абсолютно суцільними. Вони мають мікроскопічні ділянки металу де концентрація дифундуючого металу дуже низька. Ці точкові елементи і є об'єктом анодного процесу. Високонпружений стан поверхні тертя, який виникає під час зношування, та значні температури, що супроводжують процес ковзання спряженої пари, підвищують активність анодного розчинення металу. Такі явища послаблюють положення фаз покриття в структурі основного металу, а також сприяють утворенню порожнин під покриттям. Під дією значних зусиль, спричинених абразивними частинами, дифузійний шар руйнується, що призводить до інтенсивного зношування пар тертя.

Поверхнєве зміцнення елементів зношування шляхом нанесення покриттів з евтектичною структурою, отриманих із реакційних сумішей, які характеризуються високою поверхневою твердістю та значною товщиною, ефективно підвищує зносостійкість деталей тертя в абразивному середовищі в значно ширшому діапазоні зовнішнього навантаження у порівнянні із зносостійкістю цих же деталей після дифузійного борування або з іншими видами покриттів [3]. В той же час виникає цілком обґрунтований інтерес до практичного застосування даної технології поверхневої обробки металів, які зношуються при терті ковзання у корозійно-абразивному середовищі, та одночасно виникає запитання про те, яку частку в загальному процесі зношування становить електрохімічний процес.

Метою даної роботи є дослідження зношування при терті ковзання евтектичного

покриття в корозійно-абразивному середовищі з  $pH$  7,4. Друга задача полягає у тому, щоб на підставі експериментальних результатів дати оцінку такому поверхневому зміцненню щодо його використання для підвищення довговічності деталей машин.

Дослідження зношування зразків здійснювали за схемою “вал-вкладиш” на експериментальній установці [4] при навантаженнях (1; 2; 3; 4; 5) МПа та швидкостях ковзання (0,4; 0,6; 0,8) м/с. Площа тертя вала складала  $18,8 \text{ см}^2$ , вкладиша -  $2,5 \text{ см}^2$ . Корозійно-абразивним середовищем був розчин з  $pH$  7,4, який складався з 50 % кварцового піску із зернистістю 200 мкм та 50 % рідини, що представляла собою 3%-ний розчин NaCl. Час зношування становив 30 хв. Втрату ваги при зношуванні визначали ваговим методом на аналітичній вазі ВЛР-200г з точністю до  $10^{-5}$  г. Зразки валів та вкладишів виготовлялись із сталі 45. На поверхню валів наносилось покриття, яке отримувалось із реакційної суміші такого складу [5]: чавун сірий – 58...63 %, FeMn – 15...18 %,  $B_2O_3$  – 2...8 %, вапно – решта. Вали з обмазкою із вищезазначеної суміші просушувались при температурі  $100^{\circ}\text{C}$  на протязі 30 хв., а потім нагрівались струмами високої частоти до температури  $1150...1200^{\circ}\text{C}$  протягом 40...50 с з подальшим охолодженням на повітрі. Така технологія дала можливість виконання покриття на поверхні деталі максимальною товщиною до 4 мм. Після поверхневого зміцнення зразки з покриттям шліфувались до відповідного розміру та заданої шорсткості поверхні, яка становила  $R_z = 20$  мкм. Товщина шару покриття після обробки зразків дорівнювала 0,5 мм. Проведені металографічні та рентгеноструктурні аналізи показали, що покриття має евтектичну структуру, яка складається із легованого бором та марганцем  $\square$ -Fe та цементиту,  $Fe_2B$  та  $FeB$  фаз. Мікротвердість такого покриття становила 9,5...12 ГПа.

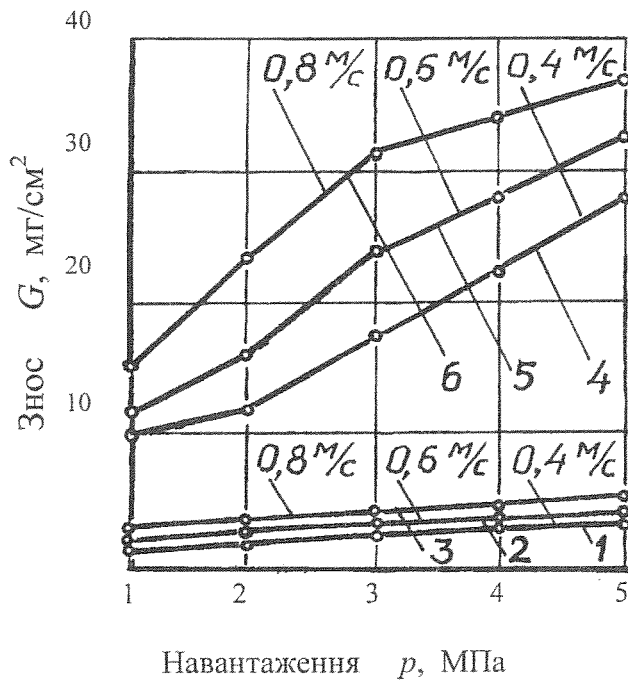
Зразки вкладишів піддавались об'ємному загартуванню і низькому відпуску, що давало можливість отримати мартенситну структуру з мікротвердістю 4,2...4,5 ГПа.

Під час експериментального дослідження фіксувався електродний потенціал до зношування кожного елемента спряженої пари в корозійно-абразивному середовищі, при контакті двох зразків, а також в процесі зношування. Електродний потенціал вимірювався потенціостатом П5827М. За електрод порівняння використовували хлорсрібний електрод ЕВЛ-1М1. Проведені виміри показали, що на поверхні зразка з евтектичним покриттям, який знаходився в корозійному середовищі з  $pH$  7,4, відбуваються електрохімічні процеси і електродний потенціал такої деталі з поверхневою обробкою рівний  $-400$  мВ, для зразка вкладиша він має більше значення і складає  $-450$  мВ. Електродний потенціал пари тертя становив  $-510$  мВ. Дані експериментальних досліджень зносу валів та вкладишів і пари тертя в цілому в корозійно-абразивному середовищі показані на нижченаведених графіках і свідчать про те, що з підвищенням навантаження та швидкості ковзання втрата ваги спряжених зразків збільшується.

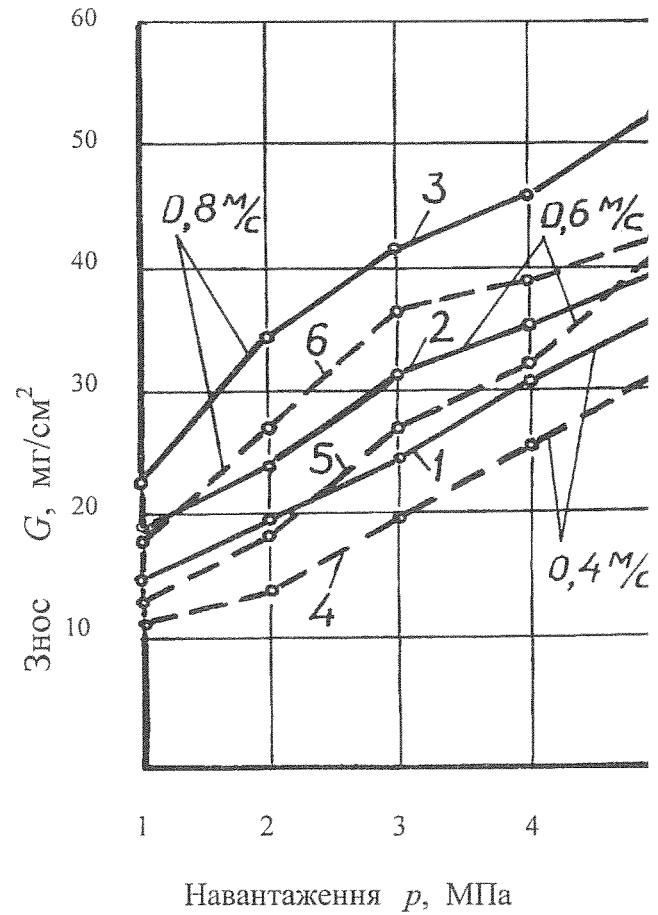
Досліджуючи різні площі зразків, встановлено, що змінюються їхні умови зношування, а тому знос кожного елемента тертя різний. Вкладиші мають більший за абсолютним виміром знос на одиницю площі, ніж вали. При цьому фізико-механічні властивості матеріалів зразків суттєво впливають на взаємодію абразивних частин в зоні контакту тертя і сприяють різному зносу елементів ковзання. На показники зношування також впливають структурні зміни, які відбуваються в тонких шарах матеріалів. Особливо це характерно для зразків вкладишів з мартенситною структурою.

Візуальний аналіз зразків після зношування свідчить про те, що абразивні зерна, які потрапляють в зону контакту тертя взаємодіють з поверхнею вала та вкладиша по-різному, що суттєво впливає на втрату ваги кожної деталі та спряженої пари в цілому. На поверхнях валів з евтектичним покриттям після зношування при навантаженні  $p = 1$  МПа та швидкості ковзання  $v = 0,4$  м/с не спостерігаються сліди мікроковзання від абразивної частини; поверхня блискуча, відшліфована під час тертя з наявністю окремих локальних мікротріщин шару покриття. Такий стан поверхонь валів зберігається також в процесі тертя при більш високих навантаженнях та швидкостях ковзання. На поверхнях тертя вкладишів після зношування при мінімальному навантаженні є сліди мікрорізання, а також блискучі відшліфовані ділянки з незначними слідами мікрорізання. З підвищенням

навантаження вплив абразиву збільшується, сліди стають глибшими, а ділянки відшліфованих поверхонь зменшуються. Утворення слідів мікрорізання сприяє інтенсивному потраплянню корозійно-абразивного середовища в зону тертя, що збільшує зношення спряжених елементів і, особливо, вкладиша.



а)



б)

*Вплив навантаження та швидкості ковзання на зношення:*

- а) вала з евтектичним покриттям (криві 1, 2, 3);  
 вкладиша з мартенситною структурою (криві 4, 5, 6)  
 при зношуванні в корозійно-абразивному середовищі з рН 7,4;
- б) сумарний знос вала та вкладиша:  
 криві 1, 2, 3 – при зношуванні в сухому кварцовому піску [3];  
 криві 4, 5, 6 – при зношуванні в корозійно-абразивному середовищі з рН 7,4.

Проведений металографічний аналіз зразків з покриттям після зношування свідчить про те, що в ньому не відбуваються фазові перетворення під впливом температур, які виникають в зоні тертя і які можуть досягати значень 350...450<sup>0</sup>С при  $p = 5$  МПа та швидкостях ковзання 0,4...0,8 м/с. При цьому не змінюється і твердість покриття, яка становить 9,5...12,5 ГПа.

Металографічний аналіз зразків вкладишів після зношування в абразивному середовищі показав, що в мартенситній структурі металу відбуваються фазові зміни з утворенням білих шарів з різними фізико-механічними властивостями залежно від температури, яка виникає в зоні контакту тертя [3]. Спряження зразків з різною твердістю їх поверхонь змінює взаємодію абразивних частинок в зоні контакту тертя і спричиняє різний знос деталей ковзання з підвищенням навантаження та швидкості ковзання.

Зношування при різних зовнішніх навантаженнях створює напружений стан в поверхневих шарах зразків. Температура, яка виникає в зоні контакту тертя, також має

значний вплив на розповсюдження деформації в тонких структурах металу. Всі ці процеси активізують іонізацію анодного розчинення поверхонь тертя металів при зношуванні їх в корозійно-абразивному середовищі з  $pH$  7,4, про що свідчить електродний потенціал пари тертя, який змінюється від  $-650$  мВ при  $p = 1$  МПа до  $-950...1100$  мВ при  $p = 5$  МПа та швидкостях ковзання  $0,4; 0,6; 0,8$  м/с. Іони хлору, які знаходяться в розчині, виконують роль деполаризатора і також активізують анодні процеси. Відносний рух деталей сприяє інтенсивному руйнуванню окисних плівок, які виникають на їх поверхні, утворюючи ювенільні ділянки, що омиваються корозійним середовищем. На них активно розвиваються анодні електрохімічні процеси, що підсилюються температурним фактором. Багаторазове передеформування поверхонь тертя під дією зовнішніх навантажень та абразиву, який потрапляє в зону контакту зразків, призводить до утворення втомних мікротріщин у тонких шарах покриття та в його мартенситній структурі. Корозійне середовище сприяє формуванню концентраторів напружень, їх поширенню та утворенню локальних викришувань частинок металу з поверхонь тертя спряжених деталей. Однак, в той же час, молекули води, адсорбуючись на поверхнях спряжених елементів, утворюють плівку, яка відіграє роль мастила. Ця плівка призводить до зменшення напружень у поверхнях тертя зразків, що, в свою чергу, зменшує знос елементів тертя та спряженої пари в цілому у порівнянні з втратою ваги аналогічних пар тертя в сухому абразивному середовищі (див. наведені вище графіки). Металографічний аналіз показав, що в структурі евтектичного покриття не має тріщин і пустот від електрохімічного процесу, які б послаблювали поверхневу міцність шару; відбувається загальна корозійна дія поверхонь тертя під напруженням.

Експериментальні дослідження підтвердили висновок про те, що на зношування пар тертя в корозійно-абразивному середовищі з  $pH$  7,4 впливають як механічні, так і електрохімічні процеси; однак, на стійкість проти зношування при наявності абразиву в зоні контакту тертя при різних навантаженнях та швидкостях ковзання вирішальне значення мають фізико-механічні властивості матеріалу. Висока поверхнева твердість евтектичного покриття та значна його товщина обумовлює взаємодію абразивних частин у зоні спряження і сприяє високій стійкості зразків проти зношування.

Електрохімічний процес, який характеризується анодним розчиненням матеріалу, значною мірою залежить від корозійної стійкості матеріалу в даному середовищі. Покриття з евтектичною структурою має задовільну корозійну стійкість у середовищі з  $pH$  7,4.

Дані експериментальних досліджень дають підставу стверджувати, що розроблена реакційна суміш дозволяє отримувати зносостійкі покриття з евтектичною структурою. Ці покриття можна успішно використовувати для підвищення довговічності деталей сільськогосподарських знарядь, пожежно-аварійної техніки, дорожніх машин та інших деталей, які працюють на знос в нейтральних корозійно-абразивних середовищах.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Похмурський В.І., Голубець В.М., Козуб В.В. Про ефективність застосування захисних покриттів для підвищення стійкості металів/ Вісн. АН УРСР 1976 № 8. - с. 61-68.
2. Козуб В.В., Голубець В.М., Пашечко М.И. Износостойкость стали 45 с боридным покрытием в коррозионно-абразивных средах. ФХММ № 2. - с. 118-120.
3. Панкевич Б.В., Козуб В.В., Керницький І.С., Пашечко М.І. Стійкість евтектичних покриттів в умовах абразивного зношування // Вісник ДУ "Львівська політехніка". № 376. Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. - Львів: Видавництво ДУЛП - 1999. - с. 38-41.
4. Козуб В.В., Ліскевич І.Ю., Сірак П.Я. Електрохімічні процеси у вузлах тертя та їх вплив на зношування вуглецевої сталі 45 з боридним покриттям в корозійно-абразивному середовищі // Вісник Львівського політехнічного інституту. № 259. Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. - Львів: Видавництво "Світ". - 1991. - с. 56-60.
5. А.с. 1747536. Состав для борирования стальных изделий/ В.В. Козуб, О.П. Калиновская, И.С. Керницкий и др. // Открытия. Изобретения. 1992. № 26. - 3 с.

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ УКРИТТІВ АЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТИВ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ ДК "УКРТРАНСГАЗ"

На підставі аналізу вітчизняного та світового досвіду щодо протипожежного захисту газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій, а також результатів експериментальних досліджень за останні 20 років запропоновано основні принципи технічної політики щодо забезпечення протипожежного захисту газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій ДК "Укртрансгаз", які експлуатуються, реконструюються та проектується з урахуванням необхідності дотримання вимог Монреальського протоколу.

З урахуванням вимог Монреальського протоколу [1], Концептуальних засад діяльності щодо зменшення залежності України від використання озоноруйнівних речовин групи галонів в сфері пожежної безпеки [2] та Плану управління озоноруйнівними вогнегасними речовинами групи галонів у сфері пожежної безпеки України [3] на майбутнє в системах протипожежного захисту у тому числі укриттів газоперекачувальних агрегатів контейнерного типу компресорних станцій, в яких на теперішній час експлуатуються автоматичні установки газового пожежогасіння із застосуванням в них галону 1301 або хладону 2402 (114B2) пріоритет застосування повинен належати екологічно безпечним вогнегасним речовинам.

Пожежна небезпека газоперекачувальних агрегатів (ГПА) зумовлена пожежонебезпечними властивостями природного газу (метану) та турбінної оливи, яка застосовується в системах їх змащування, охолодження і ущільнення. Основною причиною пожеж на ГПА з газотурбінним приводом є займання змащувальної оливи (мастила), газу, або їх суміші, які можуть поступити в об'єм укриття в результаті аварії і вступити в контакт з технологічними поверхнями, температура яких перевищує температуру спалаху такого газоповітряного горючого середовища. Взагалі джерелом запалювання на ГПА також можуть бути технологічні вихлопні гази, коротке замикання, необережне поводження з вогнем тощо.

Найбільш пожежонебезпечними зонами в укриттях ГПА з газотурбінним приводом є:

- зона відведення вихлопних газів через вихлопну трубу;
- високотемпературна частка приводу турбокомпресора ГПА (бокси турбіни та вихлопу в контейнері);
- нагнітач;
- бак для оливи нагнітача;
- бак для оливи приводу турбокомпресора ГПА.

Пожежі, що виникають на ГПА, характеризуються високою швидкістю розповсюдження та високим рівнем теплового випромінювання, значною мірою це обумовлено тим, що проміжок часу обертання ротору після аварійного відключення турбіни дорівнює 15 хвилинам, тобто протягом цього часу головний масляний насос, встановлений на валу ротора, продовжує подавати мастило в зону пожежі.

Згідно з СТП 320.300.19801.047-2002 [4] ці приміщення мають категорію А (вибухопожежонебезпечна) за НАПБ Б.07.005-86 (ОНТП 24-86) [5], категорію вибухової небезпеки вибухонебезпечних сумішей і групу вибухонебезпечних сумішей - ПА-Т1 за ГОСТ 12.1.011 [6], клас вибухонебезпечної зони – 2 за ДНАОП 0.00-1.32-01 [7].

Об'єкти з такою пожежною небезпекою згідно з нормами пожежної безпеки в газовій промисловості [8] повинні обов'язково обладнуватися автоматичними установками пожежогасіння.

Газоперекачувальні агрегати типу ГТК-10і, ГТК-25і та ГТН-25 встановлюються в індивідуальні укриття об'ємом близько 3000 м<sup>3</sup> (ГТК-10і) і близько 6000 м<sup>3</sup> (ГТК-25і, ГТН-25) без перегородки між зонами розміщення нагнітача і приводу ГПА. З метою