

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.2(95).16555

О. І. ДУХОТА¹, М. В. КИДРАЧУК¹, В. В. ХАРЧЕНКО¹, Н. О. НАУМЕНКО²¹Національний авіаційний університет²ДП «ДЕРЖАВТО-ТРАНСНДІПРОЕКТ»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ, СФОРМОВАНИХ МЕТОДАМИ ПЛАЗМОВОГО, ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО І ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПИЛЕННЯ

Подано результати експериментальних досліджень закономірностей зношування в умовах фретинг-корозії ряду покриттів сформованих методами плазмового, імпульсно-плазмового та високошвидкісного газополуменевого напилення. Проаналізовано особливості формування в процесі напилення структурно-фазового складу покриттів та його вплив на їх зносостійкість. Виконано аналітичні дослідження закономірностей формування напружено-деформованого стану в системі "ГТН-покриття-основа" та дослідження з оцінювання ефективності різних технологічних впливів і методів конструювання покриттів на зносостійкість і втомну довговічність деталей з ГТН-покриттям.

Ключові слова: фретинг-корозія, зношування, плазмове напилення, газополуменево напилення, електродугове напилення.

Вступ. Серед існуючих і таких, що активно розвиваються методів інженерії зносостійких поверхонь одними із найбільш універсальних і продуктивних є методи газотермічного напилення покриттів (ГТН). Натепер для ГТН розроблено і використовується досить широка номенклатура як простих, так і складних за вмістом компонентів матеріалів, які дозволяють отримувати покриття із самими різними властивостями. Разом з цим у рекомендаціях щодо їх застосування в більшості випадків зазначається лише функціональне призначення покриття без врахування всього комплексу вимог до експлуатаційних властивостей, що висувуються умовами роботи деталі. Підвищенню ефективності і більш широкому впровадженню технологій ГТН для вирішення триботехнічних задач буде сприяти виконання досліджень із встановлення взаємозв'язку між вихідним складом матеріалу, технологічними параметрами напилення і триботехнічними властивостями покриттів.

Методи плазмового і газополуменевого напилення порівняно з детонаційним методом відрізняється більшою продуктивністю, але меншою щільністю і адгезійно-когезійною міцністю покриттів. Новим у розвитку технологій плазмового і газополуменевого напилення є розроблення заходів, що забезпечують суттєве збільшення швидкості частинок напилюваного матеріалу, а також дають можливість керувати температурою і газодинамічними параметрами робочого струменя.

Теоретичними і експериментальними дослідженнями з пришвидшення і розігріву частинок, що беруть участь у формуванні ГТН – покриттів, встановлено, що найбільш суттєве збільшення міцності зчеплення покриття з матеріалом основи досягається за надзвукових швидкостей робочого струменя і напилюваних частинок. Одночасно збільшується щільність і когезійна міцність покриттів [1;2]. Це пояснюється ростом локального тиску і температури в зоні співударання напилюваних частинок з основою, що активізує процеси міжмолекулярної і міжатомної взаємодії матеріалів.

З метою збільшення швидкості напилюваних частинок і, відповідно, експлуатаційних характеристик покриттів в Інституті надтвердих матеріалів НАН України розроблено метод імпульсно-плазмового напилення. В основі цього методу лежить використання імпульсних плазмених струменів, що генеруються при розряді ємкісного накопичувача енергії між коаксиально розташованими електродами. Швидкість імпульсного плазменого струменя може досягати при атмосферному тиску $1 \cdot 10^4 \dots 2 \cdot 10^4$ м/с, а швидкість напилюваних частинок $1 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^3$ м/сек.

До прогресивних інноваційних технологій ГТН відносяться також так названі метод високошвидкісного кисневого „High Velocity Oxygen Fuel” і високошвидкісного повітряного „High Velocity Air Fuel” газополуменевого напилення. В цих методах для розігріву, розпилювання і транспортування напилюваного матеріалу використовують газовий струмінь, що генерується спеціальним пальником з камерою прискорення реактивного типу при спаленні горючого газу ацетилену [пропану, водню чи пропілену] у суміші з киснем (HVOF – метод), або у суміші із стисненим повітрям (HVOF - метод) [3; 4]. При використанні методу HVOF швидкість струменя продуктів згоряння досягає від 1350 м/с до 2880 м/с, а швидкість частинок напилюваного матеріалу від 700 м/с до 1000 м/с.

Метою дослідження було встановлення закономірностей перебігу фретинг-корозійного зношування та закономірностей формування напружено-деформованого стану в системі “покриття-основа” при випробуваннях на зношування для різних методів напилення покриття.

У табл. 1 у порівнянні з конструкційним титановим сплавом ВТЗ-1 представлено результати випробувань на зношування в умовах фретинг – корозії ряду покриттів отриманих із різних матеріалів із застосуванням звичайного плазмово – дугового, імпульсно – плазмового та високошвидкісного газополуменевого HVOF- методу напилення. Технологічні параметри напилення для кожного із досліджуваних варіантів покриття попередньо оптимізувались із умови формування найбільш однорідної структури і досягнення найбільшої адгезійної міцності покриття. Після напилення покриття піддавали алмазному шліфуванню на товщину 0,2...0,3 мм і шорсткість поверхні $Ra \sim 0,2 \dots 0,3$ мм.

Випробування на зношування проводились при двох амплітудно – навантажувальних режимах фретингу: умовно „помірному” ($A = 125$ мкм; $P = 20$ МПа) і умовно „жорсткому” ($A = 250$ мкм; $P = 30$ МПа). Для першого режиму база випробувань прийнята рівню $N = 5 \cdot 10^5$ цикл, для другого $N = 2 \cdot 10^5$ цикл. Контртілом слугували зразки із сталі 45 загартованої і відпаленої на твердість HRC 50...52.

Результати досліджень та їх аналіз. Аналіз отриманих даних (табл.1) показує, що як за умовно “помірного”, так і за умовно “жорсткого” амплітудно – навантажувального режиму фретингу всі досліджувані варіанти покриттів мають більш високу у порівнянні з титановим сплавом ВТЗ-1 зносостійкість. Звертає на себе увагу той факт, що, незалежно від методу напилення, покриття сформовані із композиційних матеріалів до складу яких входять високотверді карбідні фази (покриття КХН-30, КТН-35, КТН-50, ПС-12НВК-01) і які за помірного амплітудно-навантажувального режиму фретингу виявляють відносно високу зносостійкість, за жорсткого амплітудно-навантажувального режиму фретингу мають більш низьку зносостійкість, ніж менш тверде молібденове покриття.

Для встановлення причинно – наслідкових зв’язків між параметрами віброконтактного навантаження і зносостійкістю для покриттів КХН-30, КТН-35, КТН-50, напилених плазмово–дуговим методом, та Мо-покриття, напиленого високошвидкісним газополуменевим методом, додатково були проведені дослідження із встановлення залежності величини лінійного зносу від питомого контактного навантаження. Покриття КХН-30, КТН-35, КТН-50 випробувались в однойменних парах, Мо-покриття у парі із загартованою сталю 45(HRC52...54).

Таблиця 1

Результати порівняльних випробувань на зношування в умовах фретинг-корозії покриттів сформованих методами плазмово-дугового, імпульсно – плазмового і високошвидкісного газополуменевого напилення

№	Покриття	Склад вихідного матеріалу	Метод напилення	Показник зносостійкості I_N , цикл/мкм за амплітудно-навантажувального режиму фретингу	
				Умовно “помірний”	Умовно “жорсткий”
1	КХН-30	70 мас. % Cr_2C_3 + 30мас.% Ni	Плазмово-дуговий	$3,6 \cdot 10^4$	$0,25 \cdot 10^4$
			Імпульсно-плазмовий	$5,0 \cdot 10^4$	-
2	КТН-35	65мас.% TiC +35мас.%Ni	Плазмово-дуговий	$4,2 \cdot 10^4$	-
3	КТН-50	50мас.% TiC +50мас.% Ni	Плазмово-дуговий	$4,9 \cdot 10^4$	-
4	ПС-12 НВК-01	65мас% сплаву Ni-Cr-B-Si-Fe+35мас.%W C	Плазмово-дуговий	$4,8 \cdot 10^4$	$0,27 \cdot 10^4$
			Імпульсно-плазмовий	$5,9 \cdot 10^4$	-
5	Моібден	Мо-порошок	Плазмово-дуговий	$5,2 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^4$
			HVAF-газополуменевий	$5,6 \cdot 10^4$	$0,91 \cdot 10^4$
6	Сплав ВТЗ-1			$2,0 \cdot 10^4$	$0,22 \cdot 10^4$

Випробування проводились при ступінчатому збільшенні навантаження в діапазоні $P = 9,8...49,0$ МПа з кроком 4,9МПа при амплітудах відносного переміщення 125мкм і 250мкм на базі випробувань $N = 5 \cdot 10^5$ цикл і $N=2 \cdot 10^5$ цикл. Результати дослідження представлено на рис. 1, рис. 2.

Як видно із рис.1 для покриттів КХН-30, КТН-30 і КТН-50 спостерігається немонотонне стрибкоподібне зростання величини зносу при збільшенні питомого навантаження у контакті вище певної критичної величини $P_{кр}$. Такий характер залежності $H = f(P)$ свідчить про зміну механізму фрикційного руйнування.

Серед покриттів зазначеної групи найменше значення $P_{кр}$ і найбільш низьку зносостійкість має покриття системи Cr_2C_3 -Ni (КХН -30). Металографічний аналіз

показав, що структура плазово-напиленого покриття КХН -30 складається із карбідних зерен Cr_2C_3 , хаотично розподілених між шарами нікелевої зв'язки. Оскільки встановлено [5], що карбід хрому навіть за високих температур майже не розчиняється в Ni , зв'язок між частинами карбідної фази і Ni у покритті КХН -30 може здійснюватись переважно за рахунок механічного зчеплення. При напруженнях, що перевищують когезійну міцність матеріалу на межі карбідної і матричної фаз відбуваються акти крихкого локального руйнування покриття з відокремленням вільних частинок Cr_2C_3 переміщення яких в зоні контакту за умов фретингу викликає інтенсивне абразивне зношування.

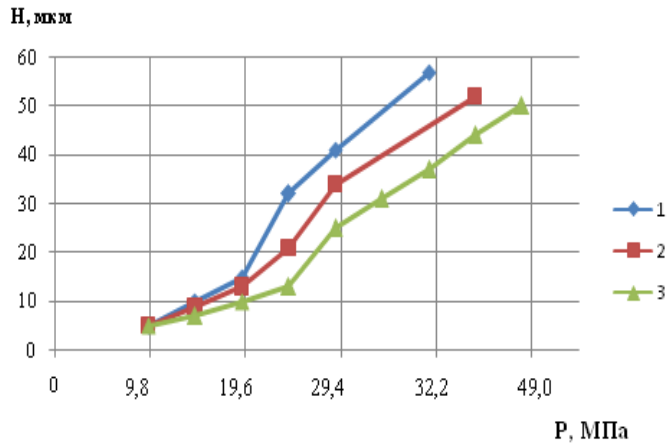


Рис. 1. Залежність величини середнього лінійного зносу покриттів КХН-30 (1), КТН-35 (2) і КТН-50 (3) від питомого контактного навантаження. Напилення плазово-дуговим методом. Умови випробувань: $A=125$ мкм; $v=30$ Гц; $T=293$ К; $N=5 \cdot 10^5$ цикл.

Пари однойменні

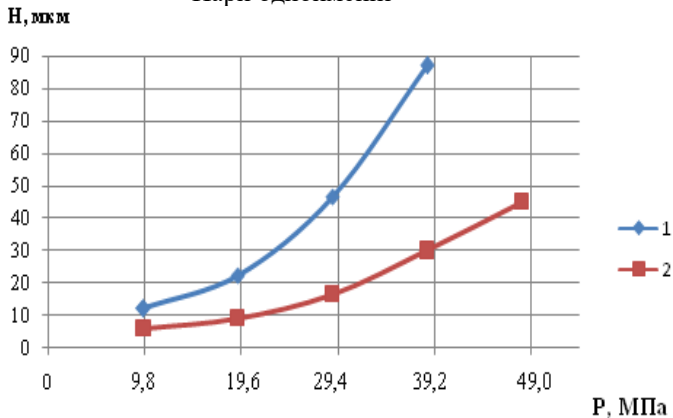


Рис. 2. Залежність середнього лінійного зносу молібденового покриття від питомого контактного навантаження. Напилення високошвидкісним газополуменим методом. Умови випробувань: 1 – $A=250$ мкм; $P=29,4$ МПа; $N=2 \cdot 10^5$ цикл; 2 – $A=125$ мкм; $P=20,4$ МПа; $N=5 \cdot 10^5$ цикл. $v=30$ Гц; $T=293$ К. Матеріал контр-зразка – Сталь 45 (HRC 50-52)

Фазовий склад покриттів системи $TiC-Ni$ (КТН-35; КТН-50), сформованих плазовим напиленням, як показали результати досліджень [6], відрізняється від складу вихідного матеріалу. Крім TiC і Ni у покриттів виявлені фази, які являють собою твердий розчин TiC у Ni , подвійний карбід $(TiNi)_6C$ і інтерметалідні

сполуки TiNi, TiNi₃. Присутність зазначених фаз свідчить про наявність твердофазної дифузійної і хімічної взаємодії між TiC і Ni, яка відбувається в процесі напилення під дією високотемпературного плазмового струменя. У цьому випадку слід очікувати більш високої когезійної міцності покриття і відповідно більш високого значення $P_{кр}$.

Очевидно, що за прийнятих значень питомих контактних навантажень і установленому механізму інтенсифікації зношування, величина критичного навантаження $P_{кр}$, що викликає стрибкоподібне зростання зносу, швидше всього буде досягатись на плямах фактичного контакту в період припрацювання і у покриттів з меншою когезійною міцністю. У наслідок збільшення площі фактичного контакту в ході припрацювання і формування в зоні контакту стійкого прошарку продуктів зношування, діючі контактні напруження зменшаться, що буде сприяти зменшенню інтенсивності фрикційного руйнування.

Можна очікувати, що подібні закономірності перебігу фретинг-корозійного зношування притаманні і іншим композиційним ГТН-покриттям, структурно-фазовий склад яких сформований за принципом “тверда зміцнююча фаза – м’яка матриця” і які характеризуються недостатньо високою для заданого амплітудно-навантажувального режиму фретингу когезійною міцністю. Відмінність у залежностях величини зносу від силових параметрів фретингу, в цьому випадку, буде визначатись переважно міцністю когезійних зв’язків між окремими структурно-фазовими складовими та шарами покриття і абразивною здатністю продуктів його зношування.

Графіки залежності $H = f(P)$ молібденового покриття мають монотонно зростаючий із збільшенням питомого контактного навантаження характер, без явно вираженого стрибкоподібного збільшення величини зносу. Це свідчить про те, що розвиток процесу фрикційного руйнування молібденового покриття за прийнятих параметрів фретингу відбувається за одним і тим же провідним механізмом, а саме покриття характеризується високим рівнем і високою однорідністю міцності когезійних зв’язків.

Необхідно сказати, що завдяки пористості газотермічні покриття розглядаються як перспективні для застосування на деталях, що працюють в умовах тертя з мащенням, зокрема, як альтернативні поки що широко розповсюдженим електролітичним хромовим покриттям. Така проблема особливо гостро стоїть для важконавантажених деталей номінально-нерухомих з’єднань, де зносо-ресурсна ефективність електролітичних хромових покриттів обмежена незадовільною змочуваністю їх поверхні мастильними матеріалами і не високою здатністю твердих хромових осадків до припрацювання. В останній час у світовій практиці застосування електролітичного хромування обмежується також із-за високої токсичності сполук хрому і проблем їх утилізації. При пошуку альтернативних методів ставиться завдання не тільки забезпечити експлуатаційні характеристики захисних покриттів не гірші, ніж у електролітичного хрому, але і застосування для їх нанесення найменш дорогих і не дефіцитних матеріалів.

На рис. 3 представлено результати порівняльних випробувань на зношування при фретингу в умовах мащенням консистентним мастилом «Ера» електролітичного хромового покриття, напиленого високошвидкісним газополуменевим HVAF-методом молібденового покриття та покриття із мартенситної сталі 40X13, напиленого методом електродугової металізації при розпилюванні високошвидкісним потоком продуктів згоряння пропан-повітряної гарячої газової суміші.

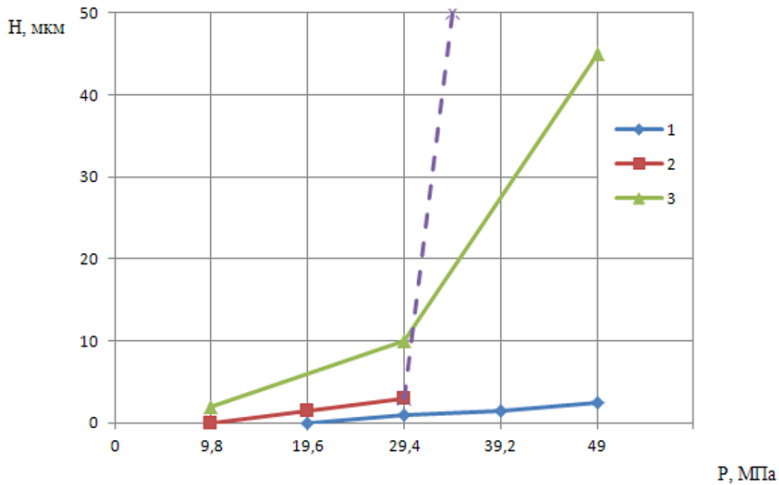


Рис. 3. Результати порівняльних випробувань на зношування покриттів при фретинг-корозії в умовах мащення: 1 – молібден, газополуменеве напилення; 2 – 40X13, електродугова металізація; 3 – твердий електролітичний хром. Умови випробувань: $A=150$ мкм; $v=30$ Гц; $T=293$ К; $N=5 \cdot 10^5$ цикл. Матеріал контрзразка – сталь 45 (HRC=50-52). Мастильний матеріал «Ера».

Аналіз отриманих залежностей $H=f(P)$ показує, що за прийнятих умов фретингу у всьому досліджуваному діапазоні питомих контактних навантажень стабільно більш високу порівняно із електролітичним хромом зносостійкість проявляє молібденове покриття. Так, при максимально встановленому значенні величини питомого контактного навантаження $P = 49$ МПа, величина середнього лінійного зносу зразків з молібденовим покриттям майже у 20 разів нижча ніж зразків з електролітичним хромовим покриттям. При цьому, як видно із знімків робочих поверхонь зразків після випробувань (рис. 4), одночасно в парі з молібденовим покриттям не виявляється будь-яких значних пошкоджень від фретинг-корозії поверхні контрзразків із загартованої сталі 45.

Висока ефективність антифрикційної і протизношувальної дії мастильного матеріалу на поверхні молібденового покриття може бути пояснена з одного боку, його високою (за рахунок пористості) маслоутримуючою здатністю, з другого – поєднанням у молібдена такого комплексу фізико-механічних властивостей, який забезпечує формування на поверхні тертя ефективних, стійких до руйнування граничних мастильних шарів. Зокрема таких притаманних молібдену властивостей, як висока міцність міжатомних зв'язків, високий рівень внутрішнього амплітудно-залежного тертя, схильність до зміцнення при динамічних навантаженнях за механізмом динамічного деформаційного старіння при збереженні достатнього запасу мікропластичності.

Відомо, що у ролі активних центрів адсорбції полярних молекул змащувальної речовини виступають східці і так названі «вінціальні грані», що утворюються при виході дислокацій на поверхню кристалів. Тому наявність у молібдена достатнього запасу мікропластичності (рухомих дислокацій за умов деформування нижче межі текучості) можна розглядати як фактор, що сприяє формуванню і швидкій регенерації на поверхні тертя в умовах мащення граничних мастильних шарів. Висока міцність міжатомних зв'язків у поєднанні із ефектом динамічно деформаційного старіння та наявності і структурі покриття певної кількості розсосереджених вкраплень твердих оксидних фаз (рис. 5; 6) запобігає надмірній

деформації виступів шорсткості поверхні та відповідно руйнуванню молекулярної структури моно- та мультимолекулярного мастильного шару на плямах фактичного контакту.

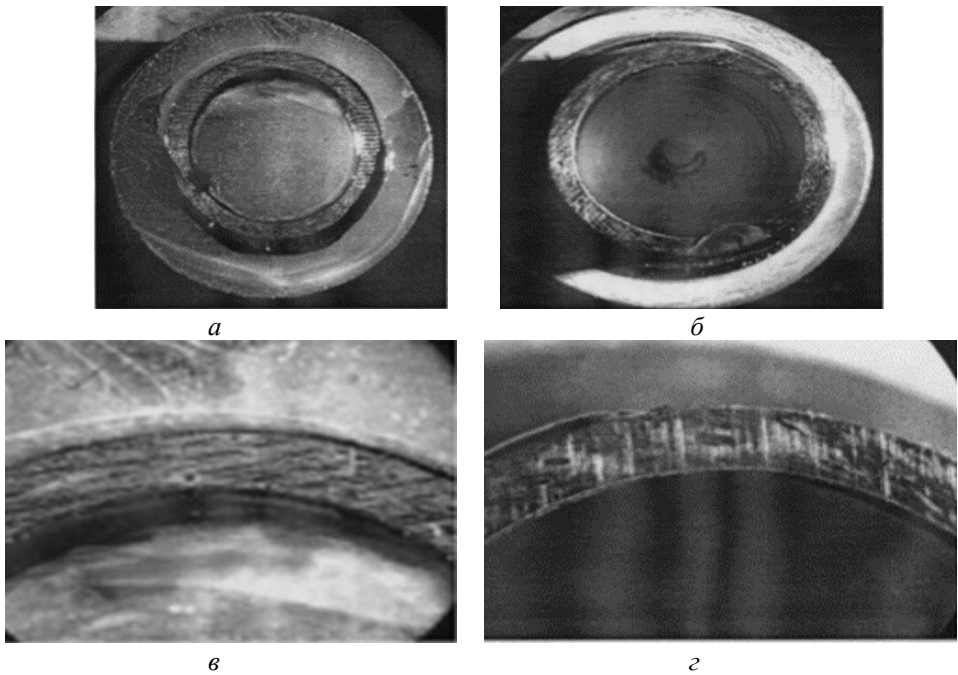


Рис. 4. Топографія поверхонь тертя зразка (а) і контрзразка (б; в; з) після випробувань на зношування в умовах фретинг-корозії. Зразок – молібден, високошвидкісне газополум'яне напilenня HVAF-методом; контр зразок- сталь 45 (HRC 52...54). Умови випробувань: $A = 150$ мкм; $P = 29,4$ МПа; $v=30$ Гц; $T = 293$ К; $N = 5 \cdot 10^5$ цикл. Мастильний матеріал «Ера»

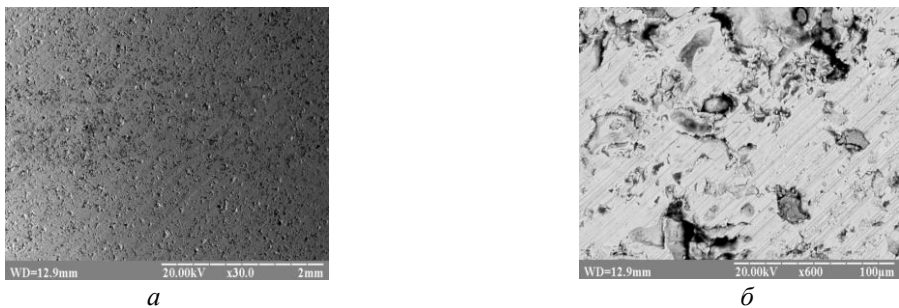


Рис. 5. Загальний вигляд (а) – зображено поверхні зразків з молібденовим покриттям у вторинних електронах (б). Плазмове напilenня HVAF-методом. Світлі ділянки – M_o -матриця; темні вкраплення – оксидні фази

Очевидно, що на хромовій поверхні і поверхні покриття із сталі 40X13 при $P > 29,4$ МПа ефективність захисної дії граничної мастильної плівки втрачається, що проявляється у різкому збільшенні величини зносу (див. рис. 3). При цьому в діапазоні питомих контактних навантажень $P \leq 29,4$ МПа покриття 40X13, як і M_o -покриття, у порівнянні із електролітичним хромом проявляє також стабільно більш високу зносостійкість.

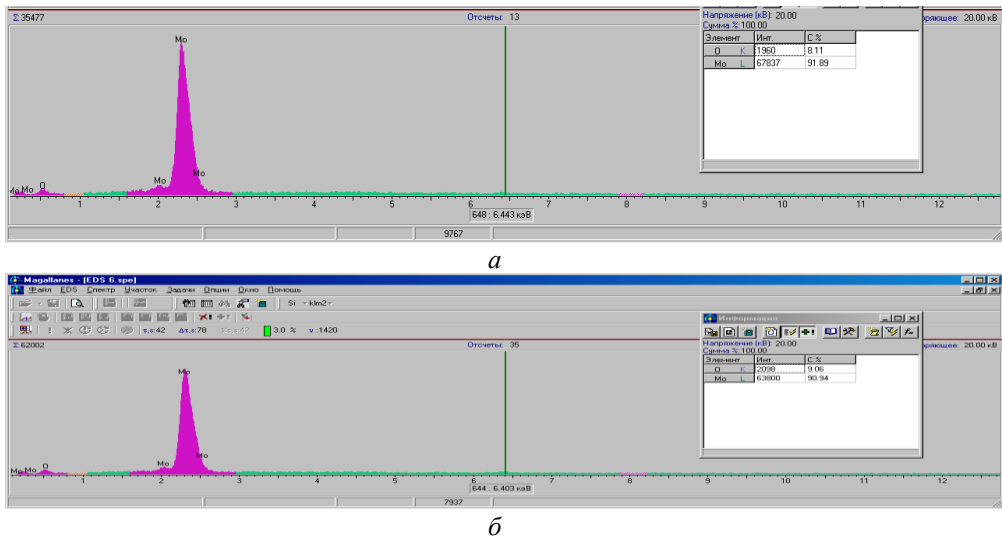


Рис. 6. Результати аналізу відсоткового вмісту хімічних елементів на поверхні зразків із молібденовим покриттям. Плазмове напилення HVAT-методом:

a – вихідна поверхня; *б* – поверхня після випробувань на фретинг-зношування

Отриману закономірність зміни стійкості до фретинг-корозійного зношування стосовно покриття 40X13 можна пояснити специфікою умов його формування та специфікою структурно-фазових перетворень, що можуть відбуватись у загартованих сталях в процесі тертя. При електродуговому напиленні покриттів із дроту сталей мартенситного класу, внаслідок високих швидкостей польоту розплавлених частинок металу і високої швидкості їх охолодження, формуються шари покриття, структура яких, в основному, складається із мартенсита, невеликої кількості залишкового аустеніта і оксидів заліза FeO та Fe₃O₄ [7]. У стані загартування структурно-метастабільний мартенсит характеризується підвищеною твердістю, міцністю і, в той же час, незначним опором малим пластичним деформаціям (високим рівням мікропластичності). Таке поєднання властивостей, з одного боку, забезпечує високу релаксаційну здатність і зносостійкість самого покриття, з другого - можливість утворення на його поверхні активних центрів для формування адсорбційних граничних мастильних шарів. При зовнішньому терті, з ростом інтенсивності дії температурних і силових полів, в зоні фрикційного контакту активізуються процеси розпаду мартенсита загартування та залишкового аустеніта. За певних умов механо-термічного впливу цей процес може розвиватись за механізмом відпуску під напруженням чи динамічного старіння [8]. При цьому, на відміну від звичайного відпуску загартованої сталі, відбувається більш повний розпад мартенсита, що супроводжується додатковим обмеженням рухомості дислокацій, зниженням мікропластичності і релаксійної здатності матеріала. Очевидно, що блокування дислокацій одночасно викличе втрату адсорбційної активності і здатності матеріала покриття до формування стійких до руйнування граничних мастильних шарів.

Висновки. Проведені дослідження показали високу ефективність антифрикційної і протизношувальної дії мастильного матеріалу на поверхні молібденового покриття, яка пояснюється як його високою (за рахунок пористості) маслоутримуючою здатністю, так і стійкістю до руйнування граничних мастильних шарів. Аналізуючи залежності $H=f(P)$ видно, що за прийнятих умов фретингу у всьому

досліджуваному діапазоні питомих контактних навантажень стабільно більш високу порівняно із електролітичним хромом зносостійкість проявляє молібденове покриття. Так, при максимально встановленому значенні величини питомого контактного навантаження $P = 49$ МПа, величина середнього лінійного зносу зразків з молібденовим покриттям майже у 20 разів нижча ніж зразків з електролітичним хромовим покриттям.

Список літератури

1. Шаривкер С. Ю., Влияние скорости напыляемых частиц на прочность сцеплено напыленных покрытий /С. Ю. Шаривкер, Е. А. Астахов, А. П. Гарда //Физика и химия обработки материалов – 1974. - №5. – С.157-159
2. Шоршоров М. Х. Физико-химические основы детонационного напыления покрытий / М. Х. Шоршоров, Ю. А. Харламов – М.: Наука,1978. – 224с.
3. Ющенко К. А. Інженерія поверхні: підручник/ К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж. – К.: Наукова думка . 2007. – 558 с.
4. Белоцерковский М. А. Технологии активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий./ М. А. Белоцерковский. – Мн.: Технопринт. – 2004.- 200 с.
5. Войтович Р.Ф. Тугоплавкие соединения. Термодинамические характеристики: справоч. / Р. Ф. Войтович. – К. Наук. думка, 1971. – 220 с.
6. Формирование покрытия из карбида титана, планированного никелем и влияние режимов напыления на его структуру и свойства // Ф.И. Китаев, А. С. Намычкин, А. Г. Бакова и др. // Порошковая металлургия. – 1982. - №10. – С. 29-33.
7. Структурно-фазовые превращения в покрытиях из сталей ферритного и мартенситного классов при их напылении и модифицировании электроконтактной обработкой / М. И. Черновол, Т. В. Ворона, Е. Е. Кожевникова, О. А. Микосянчик, Л.А. Лопата // Проблемы тертя та зношування. – 2015. - № 2 (67). – С. 99-108.
8. Рахштадт А. Г. Пружинные стали и сплавы / А. Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с.

Стаття надійшла до редакції 05.06.2022.

Духота Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден Національного авіаційного університету, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел/факс: +38 044 406 77 73, E-mail: nau12@ukr.net.

Кіндрачук Мирослав Васильович — член-корреспондент НАН України, докт. техн. наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Національного авіаційного університету, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел/факс: +38 044 406 77 73, E-mail: nau12@ukr.net.

Харченко Володимир Володимирович – молодший науковий співробітник, завідувач лабораторії кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Національного авіаційного університету, проспект Любомира Гузара,1, м. Київ, Україна, 03058, +38(044)4067773, E-mail: nau12@ukr.net.

Науменко Ніла Олександрівна – науковий співробітник, ДП «ДЕРЖАВТО-ТРАН-СНДІПРОЕКТ», E-mail: nau12@ukr.net.

O. I. DUKHOTA, M. V. KINDRACHUK, V. V. KHARCHENKO, N. O. NAUMENKO

STUDY OF PROPERTIES OF COATINGS FORMED BY METHODS OF PLASMA, GAS FLAME AND ELECTRIC ARC SPRAYING

Among the existing and actively developing methods of engineering of wear-resistant surfaces, one of the most universal and productive are the methods of gas-thermal coating (GTS). At present, a wide range of materials, both simple and complex in terms of content, has been developed and used for GTS, which allows to obtain coatings with a variety of properties. However, the recommendations for their use in most cases indicate only the functional purpose of the coating without taking into account the full range of requirements for performance properties, which are set by the operating conditions of the part. Research on establishing the relationship between the initial composition of the material, technological parameters of spraying and tribotechnical properties of coatings will help to increase the efficiency and wider introduction of GTS technologies to solve tribotechnical problems.

The results of experimental studies of wear patterns in the conditions of fretting-corrosion of a number of coatings formed by the methods of plasma, pulse-plasma and high-speed gas-flame spraying are presented. Peculiarities of formation in the process of spraying of structural-phase composition of coatings and its influence on their wear resistance are analyzed. Analytical studies of the regularities of stress-strain formation in the system "gas-thermally sprayed coating-base" and studies to evaluate the effectiveness of various technological influences and methods of designing coatings for wear resistance and fatigue life of parts with gas-thermally sprayed coating.

Studies have shown the high efficiency of antifretting and antiwear properties of the lubricant on the surface of the molybdenum coating, which is due to its high (due to porosity) oil retention capacity and resistance to destruction of the marginal lubricating layers.

Keywords: fretting corrosion, wear, plasma spraying, gas-flame spraying, electric arc spraying.

References

1. Sharivker S. Yu., Vliyanie skorosti napylyaemykh chastic na prochnost' scepheno napylenykh pokrytij /S. Yu. Sharivner, E. A. Astahov, A. P. Garda //Fizika i himiya obrabotki materialov – 1974. - №5. – S.157-159
2. Shorshorov M. H. Fiziko-himicheskie osnovy detonacionnogo napileniya pokritij / M. H. Shorshorov, Yu. A. Harlamov – M.: Nauka,1978. – 224s.
3. Iushchenko K. A. Inzheneriia poverkhni: pidruchnyk/ K. A. Yushchenko, Yu. S. Borysov, V. D. Kuznetsov, V. M. Korzh. – K.: Naukova dumka . 2007. – 558 s.
4. Belocerkovskij M. A. Tekhnologii aktivirovannogo gazoplamnennogo napyleniya antifrikciynih pokrytij./ M. A. Belocerkovskij. – Mn.: Tekhnoprint. – 2004.- 200 s.
5. Vojtovich R. F. Tugoplavkie soedineniya. Termodinamicheskie harakteristiki: spravoch. / R. F. Vojtovich. – K. Nauk. dumka, 1971. – 220 s.
6. Formirovanie pokrytiya iz karbida titana, planirovannogo nikel'em i vliyanie rezhimov napyleniya na ego strukturu i svoystva // F.I. Kitaev, A. S. Namyshkin, A. G. Bakova i dr. // Poroshkovaya metallurgiya. – 1982. - №10. – S. 29-33.
7. Strukturno-fazovye prevrashcheniya v pokrytyyah iz stalej ferritnogo i martensitnogo klassov pri ih napylenii i modifitsirovanii elektrokontaktnoj obrabotkoj / M. I. Chernovol, T. V. Vorona, E. E. Kozhevnikova, O. A. Mikosyanchik, L.A. Lopata // Problemi tertya ta znoshuvannya. – 2015. - № 2 (67). – S. 99-108.
8. Rahshtadt A. G. Pruzhinnye stali i splayvy / A. G. Rahshtadt. – M.: Metallurgija, 1982. – 400 s.