

УДК 620.178.16 (045)

А.М. Хімко, асист.

## ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ В УМОВАХ ФРЕТИНГ-КОРОЗІЇ

*Визначено області працездатності плазмових покриттів ВКНА, ПГ10Н-01, ПС12НВК-01 і молібдену, де відбувається зміна механізмів зношування. Показано три характерні для покриттів області: нормальної зносостійкості, помірної зносостійкості та неприпустимих умов експлуатації. Установлено, що покриття молібдену показало найкращі результати зі зносостійкості. У нього найширший діапазон нормальної зносостійкості та найменший діапазон неприпустимих умов експлуатації, що дозволяє його використовувати в досить широких умовах навантаження.*

*The regions of workability, where have take place the change of mechanisms of wear, of the plasma coverages ВКНА, ПГ10Н-01, ПС12НВК-01 and molybdenum are determine. Three characteristic regions for coverages are shown: normal wearability, moderate wearability and region of inadmissible conditions of exploitation. It is set, that coverage of molybdenum showed the best results on wearability. This coverage has the widest range of normal wearability and the least range of inadmissible conditions of exploitation, that allows it to use in the enough wide terms of loading.*

### Постановка проблеми

У міру розвитку і вдосконалення техніки постійно ростуть вимоги до деталей при їх експлуатації:

- підвищення швидкостей;
- температура;
- навантаження;
- агресивність середовища.

Вживання традиційних конструкційних матеріалів вже не в змозі у ряді випадків задовольнити комплекс цих вимог. У зв'язку з цим економічно і технічно доцільно застосовувати і розвивати методи газотермічних напиленнь.

На сьогодні до напрямів у галузі захисних покриттів відносяться методи газотермічного напилення. Безліч переваг обумовлює високу універсальність газотермічного напилення, яке дозволяє наносити покриття з широким спектром службового призначення – зносостійких, корозійно-стійких, теплозахисних, а також для відновлення розмірів зношених деталей.

Технологічні параметри напилення значно впливають на властивості покриттів і дозволяють регулювати їх у досить широких межах [1]. Істотним чинником, що визначає вживання плазмового методу, є те, що антифрикційні властивості металевих покриттів значно вищі, ніж властивості напилюваних матеріалів.

Для різних умов випробувань мастил і пар тертя зносостійкість підвищується в 1,5–3 рази. Аналіз антифрикційних властивостей покриттів, наведених в інструкції [2] показує, що коефіцієнт тертя покриттів менший, ніж напилюваного металу або псевдосплаву, а максимально допустиме навантаження – більше.

Отже, виникає потреба у проведенні випробувань захисних покриттів у широкому діапазоні навантажених та амплітудних параметрів і визначення областей їх працездатності.

© А.М. Хімко, 2007

**Мета** роботи полягає у визначенні областей зносостійкості деяких плазмових покриттів на підставі дослідження механізмів зношування в умовах фретинг-корозії.

Ураховуючи те, що одним з основних видів зношування деталей авіаційної техніки є фретинг-знос, то випробування плазмових покриттів проводитимемо на зносостійкість.

Для співвідношення проводились також випробування на зносостійкість з основним матеріалом – ВТ-22.

### Аналіз досліджень і публікацій

Останнім часом газотермічним покриттям, зокрема плазмовим як найуніверсальнішим і оптимальним покриттям, присвячено безліч літератури [1–3].

Так, у роботі [3] автор досліджує оптимізаційні задачі технології покриття циліндрових втулок двигунів напиленням покриттів Х20Н80, ПХ18Н9Т, ПХ20Н80. Встановлено, що перед напиленням покриття активацію поверхні із сталі 38ХМЮА слід проводити карбідом кремнію 450-550 мкм. Найвища зносостійкість покриття досягається при напиленні порошкоподібного ніхрому в середовищі азоту. Знос покриття при цьому приблизно в чотири рази нижче порівняно зі зносом ніхрому, напиленого з прутка діаметром 1,2 мм в середовищі аргону.

Можливість вживання плазмових покриттів із твердих сплавів системи Ni-Cr-B-Si для відновлення робочої поверхні чавунних циліндрових втулок судових дизелів розглянуто в роботі [4]. Відновлення чавунної циліндрової втулки методом плазмового напилення сплавом ПГ-ХН80СРЧ, працюючої з сульфоціанованим кільцем, забезпечує її зміцнення і зносостійкість

в 3-3,5 рази вище порівняно зі зносостійкістю початкових пар тертя. Плазмове покриття втулки матеріалом ПГ-ХН80СР4 володіє найвищими триботехнічними характеристиками ( $f_{тр}=0,052$ ).

#### Методика експерименту

Випробування на зносостійкість плазмових покриттів проводили на установці МФК-1 за ГОСТ 23.211-80. На установці реалізувалася схема контакту площина-площина.

Умові експериментів відповідали:

- амплітуда переміщення 50 – 300 мкм;
- навантаження 10 – 40 МПа;
- частота коливань 30 Гц;
- база випробувань 500 000 циклів;
- температура зразків 293 К.

Зразки для випробувань відповідають ГОСТ 23.211-80 і є циліндровими роликками, вирізаними з високоміцного титанового сплаву ВТ-22 з діаметром 20 мм, на які плазмовим способом напилювали покриття ВКНА, ПГ10Н-01, ПС12НВК-01, Мо. Напилення проводили до товщини 600 мкм на плазмовій установці УПУ-3Д, після чого механічно оброблювали до товщини 400 мкм. Для підвищення міцності зчеплення покриттів з основою покриття ПС12НВК-01 і ПГ10Н-01 наносилися на підшар покриття ВКНА завтовшки 50 мкм.

Лінійний знос зразків визначали оптиметром вертикального типу ІКВ і профілографом-профілометром моделі 201. Для підвищення вірогідності експериментів кількість експериментів була не менше ніж по три на один стовпчик гістограми. Знос нерухомого зразка визначали при заданій кількості циклів фретингування. Крім зносу плазмових покриттів також визначали знос чистого титанового сплаву ВТ-22. Випробування проводили на повітрі без мастильного матеріалу.

#### Визначення працездатності плазмових покриттів

Аналіз даних лінійного зносу [6], результати фрактографічних, металографічних досліджень, а також елементний склад поверхонь тертя покриттів дозволили визначити область умов навантаження, в яких плазмові покриття працездатні. Залежно від комбінацій амплітуд відносного переміщення і питомого навантаження, є декілька характерних областей (рис. 1), в яких знос контролюється тим або іншим провідним механізмом зношування [7; 8].

Область нормальної зносостійкості покриття являє собою поєднання параметрів навантаження, що забезпечує найбільшу зносостійкість покриттів. Поверхні тертя після випробувань гладкі, з добре приробленими ділянками без ознак будь-якого руйнування. Знос у цьому випадку обмежений пластичною деформацією і нівеляцією мікронерівностей поверхні.

В області помірної зносостійкості покриття відбувається характерне для фретинг-корозії зношування поверхонь з утворенням дрібнодисперсних продуктів зносу.

Аналіз металографії доріжок тертя не виявив вторинних фаз.

У продуктах зносу були наявні початкові компоненти та їх оксиди. Все це дає підстави вважати, що зношування в цій області контролюється процесами утоми [9].

Поєднання параметрів навантаження та амплітуди, відповідне області неприпустимих умов експлуатації, спричиняє руйнування плазмових покриттів. На доріжці тертя утворюються тріщини, сколи, вириви, глибокі борозенки, що призводять до різкого збільшення зносу покриттів. У цьому діапазоні амплітуд і навантажень переважає утимо-абразивний механізм зношування [10].

За невеликих і помірних амплітуд до 175–200 мкм і навантажень до 30 МПа так само, як у разі поєднання малих навантажень з великими амплітудами, і навпаки, великих навантажень з малими амплітудами – молибденове покриття має найбільшу фретингостійкість зі всіх випробуваних нами покриттів.

Так, за амплітуди до 175 мкм покриття працездатне до навантаження у 40 МПа, а за питомого навантаження у 10 МПа покриття практично не зношується в діапазоні амплітуд від 50 до 175 мкм. За амплітуди до 300 мкм знос молибденового покриття зростає.

Покриття ВКНА за амплітуд до 175–200 мкм, показало одні з найкращих характеристик з фретингостійкості за питомих навантажень до 20 МПа. Знос цього покриття в цьому діапазоні порівнянний зі зносом молибденового покриття. За умов роботи, які перевищують цей діапазон у плазмовому покритті, починають утворюватися мікротріщини, а потім і макротріщини, які призводять до обсіпання покриття.

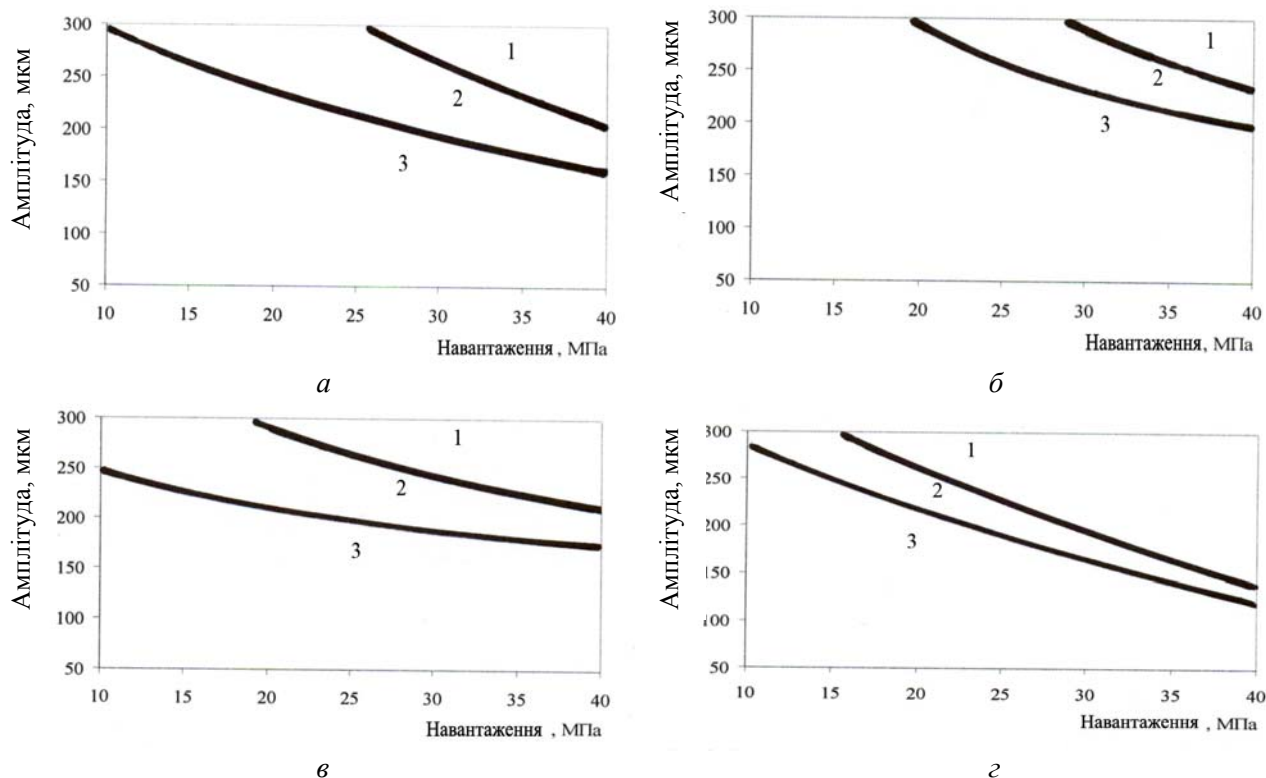


Рис. 1. Область працездатності плазмових покриттів:

- a* – покриття ВКНА;
- б* – покриття молібдену;
- в* – покриття ПГ10Н-01;
- г* – покриття ПС12НВК-01;
- 1 – область неприпустимих умов експлуатації;
- 2 – область помірної зносостійкості покриття;
- 3 – область нормальної зносостійкості покриття

Це пояснюється наявністю алюмінію і хрому у складі покриття в кількості 18 і 2 % відповідно. За важких умов навантаження збільшується температура в зоні тертя, відбувається інтенсивне окиснення алюмінію й утворюється абразив.

Покриття ПС12НВК-01 і ПГ10Н-01 працездатні лише в малому діапазоні питомих навантажень до 20 МПа та амплітуд до 150 мкм. Зі збільшенням параметрів випробувань (навантажень і амплітуд) у цих покриттів різко знижується зносостійкість.

Знос порівнянний зі зносом чистого титанового сплаву ВТ-22, що неприпустимо.

Працездатність цих покриттів характеризує наявність твердих включень у відносно м'яку нікелеву основу.

Для покриття ПС12НВК-01 це 17 % хрому і 35 % карбиду вольфраму, а для покриття ПГ10Н-01 – 18 % хрому.

На рис. 2 показано залежність лінійного зносу плазмових покриттів і титанового сплаву ВТ-22 від навантаження при випробуваннях амплітудою

переміщення 250 мкм, температурою – 293 К, кількістю циклів – 500 000, частотою – 30 Гц відповідно різним областям працездатності покриттів.

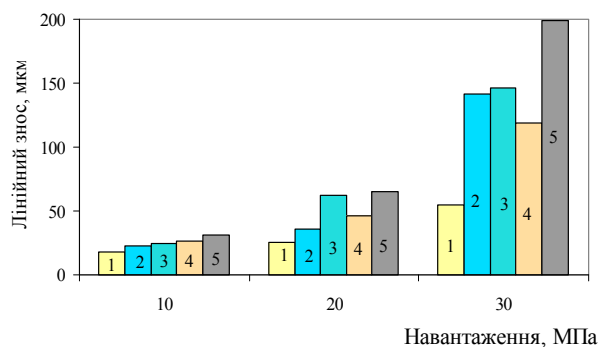


Рис. 2. Залежність лінійного зносу плазмових покриттів та титанового сплаву ВТ-22 від навантаження:

- 1 – покриття молібдену;
- 2 – покриття ПС12НВК-01;
- 3 – покриття ПГ10Н-01;
- 4 – покриття ВКНА;
- 5 – титановий сплав ВТ-22

Із рис. 2 видно, що покриття молібдену найбільш зносостійке за різних умов навантаження.

За навантаження в 30 МПа його знос майже вдвічі менший від зносу плазмового покриття ВКНА. Покриття ПС12НВК-01 і ПС10Н-01 виявились дуже чутливими до збільшення навантаження, причому покриття ПС12НВК-01 більшою мірою. Покриття ВКНА займає проміжну позицію між покриттями ПС12НВК-01, ПГ10Н-01 і покриттям молібдену. Його зносостійкість нижче ніж у нікелевих покриттів, за малих навантажно-амплітудних параметрів, але у разі підвищення умов випробувань його знос нижчий за покриття ПС12НВК-01 і ПГ10Н-01. Покриття менш чутливе до зміни навантажно-амплітудних параметрів.

#### Висновки

На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки.

1. Покриття молібдену показало одні з найкращих характеристик зі зносостійкості. У цього покриття найбільша область нормальної зносостійкості.
2. Не слід застосовувати плазмові покриття за важких умов навантаження 40 МПа з амплітудою 250–300 мкм, де майже всі випробувані покриття непрацездатні. У цих умовах знос покриттів перевищує знос основного матеріалу ВТ-22.

#### Література

1. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
2. Технологическая инструкция по применению покрытий при ремонте деталей авиационной техники,

поврежденных фреттинг-коррозией. – М.: Воздуш. трансп., 1980. – 75 с.

3. Матвеевский О.О. Повышение надежности цилиндрических втулок ДВС за счет газотермических и композиционных покрытий // Трение, износ, смазка: Науч. техн. журн. // www.tribo.ru – СПб.: НПК ВМПА-ВТО. – 2007. – Т. 9, № 3(32), сент. – 7 с.

4. Голубев Н.Ф. Износостойкость цилиндрических втулок дизеля, восстановленных плазменным напылением // Трение, износ, смазка: Науч. техн. журн. // www.tribo.ru – СПб.: НПК ВМПАВТО. – 2007. – Т. 9, № 1(30), март. – 6 с.

5. Константинов В.М., Спиридонов Н.В. Износостойкие газотермические покрытия из диффузионно-легированных порошков на основе чугуновой стружки – М.: Технопринт, 2005. – 200 с.

6. Краля В.А., Химко А.Н., Пугачевский Д.А. Восстановление деталей из титановых сплавов, работающих в условиях фреттинг-коррозии, методами газотермического напыления // Материали VIII Міжнар. наук.-техн. конф. "Авіа-2007", 25–26 квіт. 2007 р. – Т. II. – К.: НАУ, 2007. – С. 32.5–32.8.

7. Ильинский И.И. Критерии работоспособности газотермических покрытий в условиях фреттинг-коррозии // Трение и изнашивание композиционных материалов: Материалы ВНТК. – Гомель, 1982. – С. 48–49.

8. Алябьев А.Я., Духота А.И. Влияние условий виброконтактного нагружения на изнашивание титановых сплавов при фреттинг-коррозии // Трение и износ. – К., 1982. – Т. III, № 5. – С. 821–826.

9. Шевеля В.В., Калда И.В. Фреттинг-усталость металлов. – Хмельницкий: Поділля, 1998. – 299 с.

10. Шевеля В.В., Олександренко В.П. Трибохимия и реология износостойкости. – Хмельницкий: ХНУ, 2006. – 278 с.

Стаття надійшла до редакції 02.11.07.