

А.В. Бєсов¹, Н.А. Долгов², І.Й. Перкатюк³

Фізико-механічні властивості плазмових покриттів із порошків кобальт-хромових сплавів

¹Інститут проблем матеріалознавства ім. І.Н.Францевича НАН України, вул. Крижанівського 3, м. Київ, 03680, Україна,

²Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренко НАН України, вул. Тимирязівська 2, м. Київ, 01014, Україна,

³Прикарпатський національний університет ім. В.Стефаника, вул. Шевченка 57, м. Івано-Франківськ, 76025, Україна.

Одержана багатофакторна модель визначення міцності плазмонапиленого покриття в залежності від технологічних факторів його нанесення.

Ключові слова: плазмові покриття, кобальт - хромовий сплав, граничний стан покриття.

Стаття поступила до редакції 07.03.2008; прийнята до друку 15.09.2008.

Вступ

В останні роки знайшли застосування в медицині порошки кобальт-хромових сплавів для нанесення покриттів при виготовленні елементів суглобів, ортопедичної стоматології та інше. Такі покриття наносяться з допомогою спеціально розробленої мікроплазмової установки «Пласт» [1], яка дозволяє створювати на металевих підкладках ретенційні покриття з великою питомою поверхнею.

Адгезія такого покриття з металевою підкладкою забезпечується, найперше, за рахунок механічного зчеплення окремих частинок напиленого матеріалу, для чого поверхню перед напиленням піддають піскоструйній обробці. Велике значення для міцності зчеплення мають дифузія атомів компонентів покриття в матеріал підкладки, сплавлення і хімічна взаємодія спряжених матеріалів в результаті чого на підкладці формується плазмонапилене покриття, характеристика і властивості якого визначаються умовами процесу напилення.

Відомо, що під впливом експлуатаційних факторів покриття можуть відшаровуватись із-за залишкових напружень, та напружень, які виникають при розтягу і стиску в покритті, що в свою чергу пов'язано з якістю напиленого шару.

Отже, метою роботи було дослідження впливу сукупності технологічних факторів на адгезійну міцність покриття, а саме: розмір частинок порошку сплаву, який напилюється; дистанція напилення, яка характеризує силу удару частинок до підкладки; підготовка поверхні підкладки. А також оцінка граничного стану покриття із застосуванням різних теорій міцності матеріалів.

І. Методика і матеріали дослідження

З допомогою мікроплазмової установки «Пласт» наносились покриття із кобальт-хромового сплаву (КХС) на підготовлені зразки з нержавіючої сталі 12Х18Н9 після їх піскоструйної обробки. Аналіз мікрорельєфу поверхні зразків до і після напилення проводився на профілометрі Калібр-252, а мікроструктуру покриття вивчали за допомогою металомікроскопу ММР-2Р.

Теоретична оцінка граничного стану міцності покриття базувалась на використанні теорії Пісаренко-Лебедева [2], Мора [3] та врахування значень коефіцієнтів Пуассона для основи і покриття.

Вплив технологічних факторів на величину адгезійної міцності покриття досліджувались в інтервалах, приведених в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні фактори, які впливають на величину адгезійної міцності покриття

Фактори		Інтервал значень
x ₁	Струм (I, А)	4-8
x ₂	Дистанція напилення (D, см)	3-6
x ₃	Середній розмір частинок (d, мкм)	45-80
x ₄	Товщина покриття (h, мкм)	100-150

II. Результати дослідження та їх обговорення

Оптимальним режимом нанесення плазового покриття із кобальт-хромового сплаву був вибраний режим при силі струму 8 А, дистанції напылення – 6 см та дисперсності порошку 45 мкм. Товщина покриття залежала від часу напылення.

За результатами регресійного статистичного аналізу отримана залежність адгезійної міцності від технологічних факторів:

$$\sigma_{адг} = 13,01 + 2,23 x_1 + 10,6 x_2 - 0,24 x_3 + 0,27 x_1 x_2 - 2,78 x_1 x_3 + 0,89 x_2 x_3$$

виконаною за методикою роботи [4].

Аналіз мікрорельєфу поверхні зразків після піскоструйної обробки та з нанесеним покриттям наведені в таблиці 2.

Таблиця 2
Параметри шорсткуватості зразків

Покриття	d, мкм	h, мкм	Параметри шорсткуватості, мкм		
			R _a	R _z	R _{max}
δ/п	–	–	3 – 5	15	26
КХС	80 – 160	150	20 – 34	124	193
КХС	30 – 80	100	18 – 28	86	110

Найбільша шорсткуватість відповідає покриттю з грубими частинками кобальт-хромового сплаву. Із збільшенням товщини покриття, збільшується також його шорсткуватість, що пов'язано, в першу чергу, із дисперсністю порошку.

Визначення напруженого стану в покритті, який обумовлений одночасно силами адгезії поверхні та силами зчеплення зерен порошку, проводилось на основі особливостей теорії міцності, які враховують дію цих сил. Разом з тим вважається, що матеріал володіє однаковою границею міцності як при розтягу так і при стиску.

Оцінка граничного стану ретенційних покриттів

Аналіз ефективності застосування різних критеріїв міцності для розрахунку напружень в покритті проведено із наступних міркувань. Теорія граничних напружень Мора [3] враховує різний опір матеріалів на розтяг і стиск, однак не враховує середнього за величиною значення напруження в покритті, яке може досягати 23 % від рівня максимального значення в покритті [5], як розтягу так і стиску в залежності від різниці коефіцієнтів Пуассона основи і покриття [2, 5]. Ці нормальні напруження впливають на граничний стан покриття, отже, повинні враховуватись при розрахунках.

Виходячи з цих міркувань, і врахувавши те, що настання граничного стану в покритті зумовлено його здатністю опиратись нормальним напруженням, в основу критерію міцності була покладена теорія

Пісаренко-Лебедева [3], згідно якої критерій міцності запишеться у вигляді [2]:

$$\chi \sigma_{\mu} + (1 - \chi) \sigma_1 \leq [\sigma_+]$$

де σ_1 - інтенсивність напружень, які розраховуються за формулою:

$$\sigma_{\mu} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$$

Напруження σ_1 і σ_2 розраховуються за методикою, викладеною в роботі [5], а відповідно χ визначається, як відношення границь міцності при розтягу та стиску:

$$\chi = \frac{[\sigma_+]}{[\sigma_-]}$$

де σ_+ і σ_- – границя міцності при розтягу і стиску, відповідно.

Визначення міцностних властивостей покриттів

Згідно з теорією Пісаренко-Лебедева, критерій міцності відповідає виразу (1), а стосовно четвертої теорії міцності [3], яка враховує середнє за величиною напруження в покритті, це значення виразиться рівнянням:

$$\sigma_{IV}^{екв} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$$

При деформації металевго зразка (сталь 12Х18Н9) з плазовим покриттям в ньому виникають еквівалентні напруження, рівні напруженням (1):

$$\sigma^{екв} = \chi \sigma_1 + (1 - \chi) \sigma_1$$

Визначені пружні властивості основи зразка відповідали значенням:

модуль пружності $E_s = 210$ Па;
коефіцієнт Пуассона $\mu_s = 0,28$.

Плоскі металеві зразки з напыленим покриттям на обидві поверхні піддавались розтягу до моменту розтріскування покриття. Еквівалентні напруження при когезійному руйнуванні покриття визначались відповідно до теорії міцності Пісаренко-Лебедева та теорії питомої потенціальної енергії формоутворення за формулою (5) і (4) відповідно. Розрахункові значення за різними теоріями відрізнялись в межах 2%.

Міцність покриття при стиску визначалась на зразках у вигляді тонкостінного кільця з товщиною стінки 400 мкм і висотою 1 см. Внутрішній діаметр кільця складав 1,5 см. Отримані значення границі міцності покриття при стиску (σ_-) та розтягу (σ_+) наведені в таблиці 3.

Таблиця 3
Пружні і міцності властивості плазмонанпылених покриттів

Покриття	Модуль пружності E_s , ГПа	Коефіцієнт Пуассона μ_s	$[\sigma_+]$, МПа	$[\sigma_-]$, МПа
ПХ18Н10Т	74	0,26	178	741
ПХ20Н80	71	0,23	92	384
КХС	72	0,29	290	1261

Відповідно до наведених даних, для плазових покриттів виконується співвідношення $\chi = 0,23 \dots 0,25$,

що добре узгоджується з даними роботи [2] для крихких матеріалів, якими і являються плазмонапилені покриття.

Для покриття, яке знаходиться в плосконапруженому стані, формули еквівалентності за теорією міцності отримуємо після підстановки:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (6)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (7)$$

у вирази (4) і (5). Тоді формула еквівалентності за теорією міцності Пісаренко-Лебєдєва матиме вигляд:

$$2\chi \cdot \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} + (1-\chi) \cdot (\sigma + \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}) = 2\sigma_{\text{разр}}^{\text{екв}} \quad (8)$$

Формула еквівалентності для четвертої теорії міцності набуде вигляду:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sigma_{\text{IVразр}}^{\text{екв}} \quad (9)$$

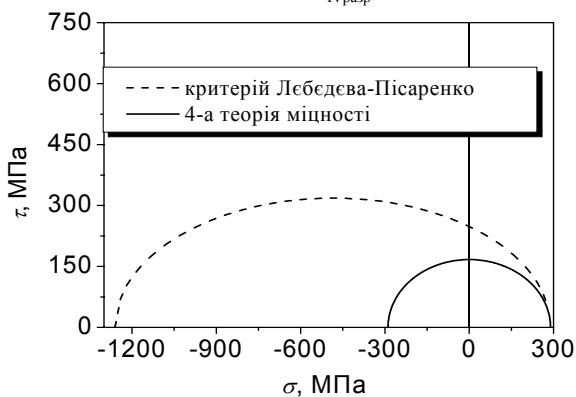


Рис. 1. Розрахункова діаграма граничного стану для покриття із кобальт-хромового сплаву (КХС).

Розрахункові діаграми граничного стану для КХС покриття, побудовані за формулами еквівалентності (8) і (9), наведені на рис. 1. Аналогічний характер кривих є також для покриттів з інших матеріалів.

Аналіз із отриманих розрахункових значень граничного стану матеріалу свідчить про доцільність застосування теорії Пісаренко-Лебєдєва для оцінки напружень при когезійному руйнуванні плазмових покриттів на зразках.

Висновки

Експериментально показано, що величина адгезійної міцності покриття залежить від технологічного режиму його нанесення.

Показано, що розрахункові значення еквівалентних напружень з використанням різних теорій пружності відрізняються на величину в межах 2%.

Побудовані діаграми граничного стану плазмового покриття показали, що характер кривих ідентичний для всіх видів нанесених покриттів і усі розглянуті системи покриттів при експлуатаційних навантаженнях володіють достатнім запасом міцності.

Бесов А.В. – кандидат технічних наук, старший науковий співпрацівник;

Долгов А.М. – кандидат технічних наук, старший науковий співпрацівник;

Перкатюк І.Й. – кандидат фізико-математичних наук, доцент.

- [1] А.В. Бесов Плазмова технологія в зубопротезуванні // *Фізика і хімія твердого тіла*, 4(1), сс. 401-405 (2003).
- [2] Долгов М.А. Метод определения модуля упругости газотермических покрытий // *Порошковая металлургия*, (7/8) сс. 110-115 (2004).
- [3] *Сопротивление материалов / Справочное пособие / Отв. ред. В.Т. Троценко*. Наукова думка, К. ч. 1. 288 с. (1994).
- [4] А.В. Бесов, Н.А. Долгов, Н.А. Зубрецкая. Влияния технологических режимов напыления на прочностные свойства плазменных покрытий. Матеріали XI Міжнародної конференції «Фізика і технологія тонких плівок та наносистем» Івано –Франківськ. – 7-12 травня 2007 р. с. 119 (2007).
- [5] Н.А. Долгов, Б.А. Ляшенко Влияние коэффициента Пуассона на предельное напряженное состояние покрытий // *Проблеми прочності*, (1), сс. 71 - 77 (2002).

A.V. Besov¹, N.A. Dolgov², I.Y. Perkatyuk³

Physical-Mechanical Properties of Plasma Coverages from Powders of Cobalt-Chromium Alloys

¹Francevich Institute for Problems of Materials Science NAS Ukraine, 3 Krizhanivskogo Str, Kyiv, 03680, Ukraine

²Pisarenko Institute for Problems of Durability NAS Ukraine, 2 Timiryazivska Str, Kyiv, 01014, Ukraine

³Precarpathion National University named after V. Stefanyk, 57 Shevchenko Str, Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine

The multivariable model for durability determination of plasma-filled coverage with dependence from technological factors of its causing have been done.

Keywords: plasma coverages, cobalt-chromium alloys, maximum state of coverage.