

УДК 621.793:539.3

ДОСЛІДЖЕННЯ КОГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ ТА ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ

М.А. ДОЛГОВ, Н.А. ЗУБРЕЦЬКА

Київський національний університет технологій та дизайну

А.В. БЕСОВ

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.Н.Францевича НАН України, м. Київ

У статті наведено результати досліджень властивостей плазмових покриттів з кобальт-хромового сплаву, що напилені на литу основу з того ж сплаву при випробуваннях зразків на розтяг.

Визначено модуль пружності, когезійну міцність та тріщиностійкість покриттів. Видзначено, що плазмове покриття має модуль пружності менший, ніж матеріал основи. Розтяг плоских зразків з покриттям викликає появу у плазмових покриттях сітки мікротріщин, але не призводить до їх відшарування

Інформація щодо механічних властивостей покриттів необхідна для розрахунків на міцність елементів конструкцій [1], для оптимізації технологічних режимів нанесення покриттів та аналізу причин їх руйнування. Покриття характеризується не лише властивостями адгезійного контакту, у той же час дані про когезійну міцність покриття не дозволяють зробити висновки щодо його міцнісних властивостей. Крім того, слід відзначити, що когезійна міцність може бути забезпечена тільки за умови достатньої адгезійної міцності покриття. Відтак не має сенсу створювати покриття з високою когезійною міцністю, яке залишається нереалізованим внаслідок його відшарування від основи.

Ще одним важливим параметром, що характеризує міцнісні властивості покриттів, є тріщиностійкість. У покритті існують дефекти, які являються концентраторами напружень. В цих місцях виникають тріщини, котрі можуть викликати когезійне руйнування покриття. Тому визначення когезійної міцності та тріщиностійкості покриттів є актуальним завданням, вирішення якого дозволить більш коректно та достовірно робити висновки щодо міцнісних властивостей покриттів.

Постановка завдання

Існує велика кількість методів вимірювання когезійної міцності та тріщиностійкості покриттів. Для компактних матеріалів і відносно товстих покриттів тріщиностійкість визначається достатньо просто. Однак, визначення тріщиностійкості тонких покриттів викликає труднощі внаслідок їх невеликої товщини [2]. Тріщиностійкість покриттів у більшості робіт визначають методами ідентифікування [3, 4]. Крім того, для визначення тріщиностійкості використовують дряпання [5, 6], а також випробування на згин [7, 8] та втрату стійкості [9].

Виходячи з того, що визначення кожної міцнісної характеристики використовуються різні методики, то для кожної методики розробляється своя форма, вид та розміри зразка. Все це призводить до виникнення труднощів при порівнянні результатів, які були отримані різними дослідниками.

Метою даної роботи є визначення когезійної міцності та тріщиностійкості плазмових покриттів при випробуваннях на розтяг протягом одного експериментального циклу. Визначення цих характеристик на одному зразку за одне випробування на розтяг на стандартній розривній машині дозволить більш коректно й достовірно оцінити міцнісні властивості плазмових покриттів.

Об'єкти та методи дослідження

В основу розробленої методики для визначення когезійної міцності та тріщиностійкості покриттів покладено короткочасні статичні випробування на розтяг зразків з покриттями та без покриттів. Для випробувань на розтяг використовувалися плоскі металічні зразки товщиною 1 мм (рис.1). Зразки виготовлялися з литого кобальт-хромового сплаву (КХС) (хімічний склад, ваговий %: (61...65) Co, (25...28) Cr, (3...3,75) Ni, (4,5...5,0) Mo).



Рис. 1. Фотографія зразка без покриття

Для напилення покриттів використовувався порошок КХС [10]. Нанесення покриттів проводилось на спеціально створеному мікроплазмовому обладнанні «ПЛАСТ» [11]. Режими напилення наведені в табл.1.

Таблиця 1. Режими напилення покриттів

Струм, А	Дистанція напилення, мм	Дисперсія порошку, мкм
5,0-5,8	28-42	-100+40

Покриття симетрично нанесено на верхню та нижню поверхню металічного зразка. Для покращення когезійної міцності поверхні зразка перед напиленням пройшли піскоструйну обробку. Товщина покриття складала 90 мкм та варіювалась від зразка до зразка. Довжина робочої частини зразка складала 40 мм. Металічні зразки, на які було нанесено покриття, виготовляли у відповідності до стандартів для випробування механічних властивостей металів без покриттів.

Для розтягу використовували стандартну розривну машину, спочатку на зразках без покриття визначали механічні властивості металічної основи з КХС, далі навантажували зразки з плазмовим покриттям. Такий підхід дозволяє отримувати більш достовірні результати.

У процесі навантаження зразків безперервно вимірювали деформації та відповідні їм зусилля на розтяг за допомогою тензодатчиків. Після руйнування тензодатчиків деформації зразків визначаються за переміщенням захватів розривної машини, записуються діаграми розтягу зразків з покриттями та без покриттів. Сигнали акустичної емісії (АЕ) використовуються для реєстрації моменту руйнування системи основа-покриття (зразка з покриттям). За сигналами АЕ на діаграмах розтягу визначаються деформації, що характеризують граничний стан системи основа-покриття. Фіксувалася деформація, при якій виникало розтріскування покриття. Реєстрація моменту руйнування покриття за допомогою сигналів АЕ виконувалася приладом АФ-15.

Випробування на розтяг зразків проводилися на розривній машині FM-1000. Для вимірювання деформацій при випробуваннях використовувалися тензодатчики КФ-5П. Залежності для визначення тріщиностійкості покриттів наведено в роботі [12].

Результати та їх обговорення

Рентгеноструктурні дослідження плазмових покриттів проводилися на дифрактометрі ДРОН-3 у немонохроматизованому рентгенівському випромінюванні хромового аноду. Аналіз дифракційної картини, наведеної на дифрактограмі (рис. 2), показав, що покриття належить до простого типу кристалічних структур, тобто має гранецентровану кубічну (ГЦК) структуру.

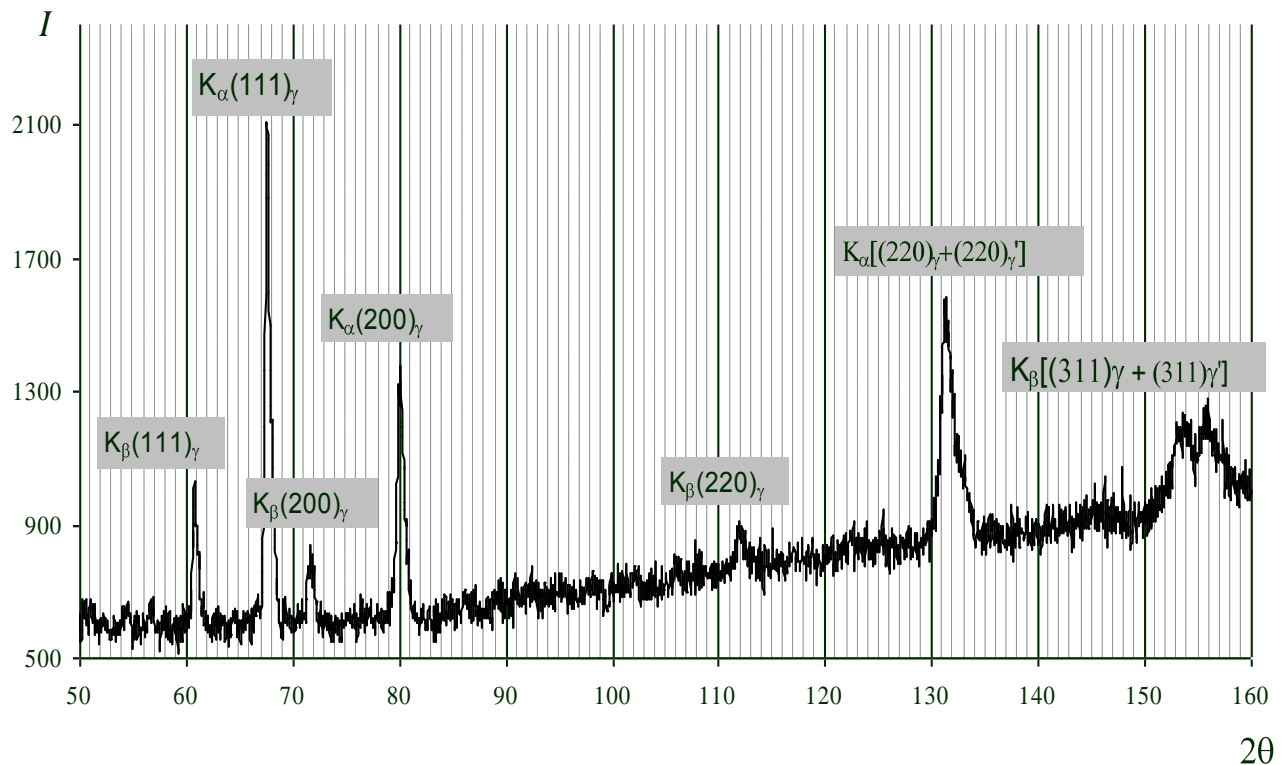


Рис. 2. Дифрактограма плазмового покриття із КХС

Розмиті рефлекси в покритті свідчать про наявність зональних напружень в матеріалі покриття в γ - та γ' - фазах, через що розщеплення рефлексів в його дифракційній картині майже не помітне. Параметри кристалічних ґраток покриття наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Параметри кристалічних ґраток покриття

Параметри ґраток, нм	
a_γ	$a_{\gamma'}$
0,3551	0,3536

При випробуваннях зразків визначалися наступні механічні властивості системи основа-покриття та її складових, а саме:

1. Модулі пружності основи E_s та покриття E_c (E_c визначається за методикою, яка описана в [13]).

2. Межа міцності σ_u зразків з покриттями та без покриттів.
3. Когезійна міцність покриття σ_{cr} .
4. Межа текучості σ_Y зразків з покриттями та без покриттів.
5. Тріщиностійкість покриттів K_{IC} .

Механічні властивості зразків, що були визначені за результатами випробувань, представлено в табл. 3.

Таблиця 2. Механічні властивості системи основа-покриття та її складових

	σ_u , МПа	σ_{cr} , МПа	σ_Y , МПа	E , ГПа	K_{IC} , МПа·м ^{1/2}
Основа	500	–	310	180	–
Покриття	–	120	–	70	1,6
Система	448	–	275	–	–

На рис. 3 наведено фотографію зразка без покриття після випробувань на розтяг, де чітко видно тріщину, що виникла в середині робочої частини зразка.



Рис. 2. Фотографія зразка без покриття з тріщиною (вид зверху)

При випробуваннях зразків з покриттями було визначено, що перша тріщина в покритті виникає при пружній деформації основи. Подальше навантаження зразків призводило до появи численних тріщин в покритті, але відшарування покриття при цьому не виявлено. На рис. 3 показано зруйнований зразок після випробувань.



Рис. 3. Фотографія зразка з покриттям після випробувань на розтяг

Для визначення залишкових напружень покриття товщиною 90 мкм було нанесено на жорстко закріплену пластину товщиною 0,5 мм, що не дає можливості стискатися та згинатися в процесі нанесення покриття. Після закінчення процесу нанесення покриття вимірювався радіус кривизни пластини, яка під дією внутрішніх сил приймала свою урівноважену форму, а потім визначались залишкові напруження в покритті [14]. Величина залишкових напружень в покритті складала $\sigma_R = 25$ МПа. Значення визначеної тріщиностійкості K_{IC} плазмового покриття з КХС наведена в табл. 3.

Висновки

На основі проведених випробувань на розтяг визначалися пружні властивості покриття та основи з кобальт-хромового сплаву. Досліджено тріщиностійкість та когезійну міцність плазмових покриттів. Плазмове покриття з КХС має модуль пружності менший, ніж металічна основа. При розтягуванні зразків у покриттях з'являється сітка мікротріщин. Відшарування покриття не виявлено. Нанесення покриття знижує рівень напружень в системі, через те, що покриття сприймає частину навантаження, яке прикладене до зразка. У зв'язку з тим, що модуль пружності покриття меншим, ніж у модулях пружності основи, то напруження в покритті є істотно меншим. Таким чином, наведені в роботі дослідження дозволили визначити міцнісні властивості плазмових покриттів з КХС при випробуваннях зразків на розтяг. У подальших роботах планується дослідити вплив технологічних режимів на когезійну міцність та тріщиностійкість плазмових покриттів з КХС.

ЛІТЕРАТУРА

4. Долгов Н.А. Расчеты на прочность и жесткость элементов конструкций с защитными покрытиями // Вестник УГТУ-УПИ. Механика микронеоднородных материалов и разрушение: Сб. научн. трудов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, – 2004. – №22(52). – с.47–51.
5. Leung D.K., He M.Y., Evans A.G. The cracking resistance of nanoscale layers and films// Journal of Materials Research.– 1995.– v.10.– p.1693–1699.
6. Xia Z., Curtin W.A., Sheldon B.W. A new method to evaluate the fracture toughness of thin films// Acta Materialia.– 2004.– v.52.– p.3507–3517.
7. Coating fracture toughness determined by Vickers indentation: an important parameter in cavitation erosion resistance of WC-Co thermally sprayed coatings / M.M.Lima, C.Godoy, P.J.Modenesi et al. // Surface and Coatings Technology.– 2004.– v.177.– p.489–496.
8. Sundararajan S., Bhushan B. Development of a continuous microscratch technique in an atomic force microscope and its application to study scratch resistance of ultrathin hard amorphous carbon coatings// Journal of Materials Research.– 2001.– v.16.– p.437–445.
9. A model for stresses, crack generation and fracture toughness calculation in scratched TiN-coated steel surfaces/ K.Holmberg, A.Laukkanen, H.Ronkainen et al // Wear.– 2003.– v.254.– p.278–291.
10. A new method of determining strength and fracture toughness of thin hard coatings/ G.Jaeger, I.Endler, M.Heilmaier et al. // Thin Solid Films.– 2000.– v.377.– p.382–388.
11. Accurate measurement of fracture toughness of free standing diamond films by three-point bending tests with sharp pre-cracked specimens/ Z.Jiang, F.X.Lu, W.Z.Tang et al. // Diamond and Related Materials.– 2000.– v.9.– p.1734–1738.
12. Chen Z., Cotterell B., Wang W. The fracture of brittle thin films on compliant substrates in flexible displays// Engineering Fracture Mechanics.– 2002.– v.69.– p.597–603
13. Бесов А.В., Маслюк В.А., Степанчук А.М. Спосіб виготовлення порошків кобальт-хромових сплавів для нанесення газотермічних покриттів на медичні вироби. Патент № 48648А. – 2002.

14. Бесов А.В., Морозов В.В. Возможности застосування плазмової технології в медицині // *Металознавство та обробка металів.* – 2002. – №3. – с.62–66.
15. Hu M.S., Evans A.G. The cracking and decohesion of thin films on ductile substrates // *Acta Metall.* – 1989. – v.37, No 3. – p.917–925.
16. Долгов Н.А. Метод определения модуля упругости газотермических покрытий // *Порошковая металлургия.* – 2004. – №7/8. – с.110–115.
17. Clyne T.W. Residual stresses in surface coatings and their effects on interfacial debonding // *Key Engineering Materials.* – 1996. – v.116. с.117–330.

Надійшла 21.10.2009