



УДК 621.762:621.793.79

В. П. Коновал, В. В. Акопян, О. Д. Костенко, К. М. Гальцов,
Т. В. Мосіна

Механічні та триботехнічні властивості детонаційних покриттів із композиційного матеріалу на основі карбіду титану–хрому

(Представлено членом-кореспондентом НАН України О. М. Григорьевим)

Методом детонаційного напилення на зразках із конструкційної сталі отримано покриття із композиційного конгломерованого порошку на основі карбіду титану–хрому. Досліджено технологічні властивості порошку для напилення, а також склад, структуру, механічні та триботехнічні властивості покриттів із нього. Одержані покриття мають гетерофазну дрібнодисперсну структуру з рівномірним розподілом фаз та високу зносостійкість ($I = 2 \div 3$ мкм/км) в умовах тертя–ковзання без мастила при навантаженнях до 2 МПа.

Детонаційне напилення є різновидом високотемпературного газотермічного методу напилення з повним або частковим нагрівом напилюваного матеріалу та подальшим його прискоренням і переносом на напилювану деталь за допомогою продуктів детонації. Завдяки високій міцності зчеплення покриттів з основою (до 300 МПа) та їх щільності (наближається до 100%), а також можливості напилення широкого класу матеріалів (включаючи керамічні та металокерамічні) детонаційний метод є кращим серед методів газотермічного напилення і застосовується при виготовленні та ремонті деталей авіаційної, нафтогазовидобувної, автомобільної промисловості, атомної та теплової енергетики [1, 2].

Функціональні властивості детонаційних покриттів значною мірою залежать від режимів напилення, способу підготовки поверхні основи, але найбільше — від властивостей матеріалу, що наноситься [3, 4]. Перспективними з точки зору фізико-механічних та триботехнічних властивостей є тугоплавкі сполуки титану. Основним недоліком цих матеріалів є досить висока крихкість, тому більш поширеним є їх використання як твердої складової композиційних матеріалів разом з металевими зв'язками із нікелю, заліза, кобальту, хрому та їх сплавів. Такі композиційні матеріали за властивостями наближаються до широко використовуваних в промисловості твердих сплавів на основі карбіду вольфраму (ВК, ТК), але при цьому мають значно нижчу густину ($4\text{--}6$ г/см³), що з урахуванням об'ємного фак-

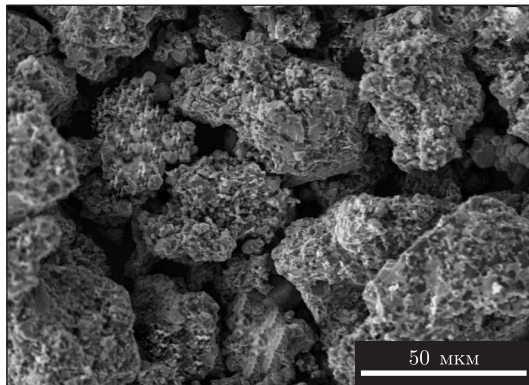


Рис. 1. Мікроструктура композиційного порошку системи TiCrC–Fe–Cr

тора робить їх значно дешевшими. Хорошим поєднанням комплексу властивостей характеризується композиційний матеріал на основі карбіду титану–хрому із зв'язкою на основі заліза. Матеріал системи TiCrC–Fe–Cr був успішно використаний для електроіскрового та плазмового наплення покриттів різного функціонального призначення [5, 6].

Композиційний конгломерований порошок системи TiCrC–Fe–Cr отримували шляхом перемішування з одночасним подрібненням складових компонентів в планетарному млині. Одержана порошкова шихта з розміром частинок 1–4 мкм брикетувалася з подальшим спіканням при температурі 1200–1300 °С. Спечені брикети подрібнювалися і просіювалися через стандартні сита з квадратною коміркою відповідного розміру [7]. Для отриманих порошків визначалися технологічні властивості: текучість ($t = 51$ с) [8], насипна щільність ($\gamma = 1,837$ г/см³) [9], середній розмір частинок порошку ($d = 35$ мкм).

Детонаційні покриття наносилися на зразки із сталі 30ХГСА на установці “Дніпро-5М” при режимах: дистанція наплення $L = 160$ мм, витрати газів $V_{C_2H_2} = 0,04$ м³, $V_{O_2} = 0,075$ м³, $V_{пов} = 0,025$ м³, тиск повітря $P = 0,27$ МПа, циклічність $f = 4$ Гц. Міцність зчеплення покриттів з основою оцінювалася якісно, шляхом вигину сталевієї пластини ($65 \times 15 \times 2$ мм) з покриттям на 90 ° в бік поверхні без покриття. В результаті таких навантажень поверхня з покриттям витримує розтягуючі напруження, які призводять до руйнування покриття в місці вигину. Структура покриттів вивчалася на мікроскопі МИМ-10, твердість вимірювалася на мікротвердомірі ПМТ-3. Триботехнічні властивості вивчалися в умовах тертя–ковзання без мастила за схемою диск–палець при швидкостях тертя $V = 1 \div 6$ м/с і навантаженнях $P = 1 \div 3$ МПа.

Компактний композиційний матеріал системи TiCrC–Fe–Cr має дрібнодисперсну гетерофазну структуру з рівномірним розподілом зерен TiCrC і сплаву FeCr, склад яких близький до вихідного. Також цей матеріал має хороші механічні властивості: $HV = 22$ ГПа, $HRA 90$, $\sigma_{виг} = 1020$ МПа, $K_{1C} = 10,8$ МН · м^{-3/2}. Порошковий матеріал даної системи являє собою багатогранні конгломерати з частинками округлої форми, середній розмір яких становить 30–60 мкм (рис. 1).

Значний вплив на склад, структуру і властивості детонаційних покриттів мають режими нанесення та попередня підготовка поверхні основи. При виборі оптимальних режимів наплення, наведених вище, враховувалися фізичні властивості матеріалу (температура плавлення, коефіцієнт лінійного теплового розширення) та технологічні властивості порошків (гранулометричний склад, текучість).

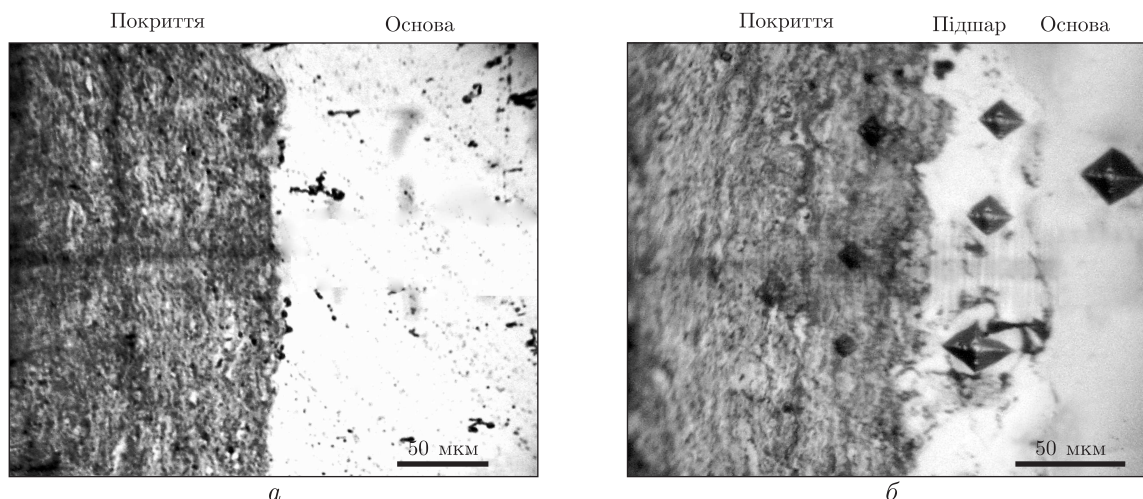


Рис. 2. Мікроструктури детонаційних покриттів із композиційного матеріалу TiCrC–Fe–Cr: *а* — без підшару; *б* — підшар детонаційного покриття із сплаву NiCr

Для отримання якомога вищої міцності зчеплення покриття з основою використовувалися різні способи попередньої підготовки поверхні основи: 1) струменево-абразивна обробка; 2) струменево-абразивна обробка і детонаційне напилення підшару NiCr товщиною 20–30 мкм; 3) електроіскрове легування різними матеріалами (NiCr, матеріал, близький за складом до матеріалу основного покриття) з подальшою струменево-абразивною обробкою.

При оцінюванні міцності зчеплення покриттів з основою шляхом вигину пластини з покриттям за відсутності підшару в місці вигину спостерігається відшарування покриття, а на відстані до 10 мм від лінії вигину по краях пластини в покритті утворюються тріщини. При нанесенні підшару як детонаційним, так і електроіскровим способом, по лінії вигину і на відстані до 5 мм в покритті утворюються тріщини шириною до 1 мм, а відшарування відсутні, що свідчить про вищу міцність зчеплення покриття з основою.

Отримані детонаційні покриття мають гетерофазну дрібнодисперсну ламелеподібну структуру з досить рівномірним розподілом фаз (рис. 2). Покриття наносилися на поверхню основи без підшару (рис. 2, *а*) та з підшаром (детонаційне покриття із Ni–Cr сплаву товщиною 30–50 мкм) (рис. 2, *б*). Незалежно від способу попередньої обробки поверхні основи, спостерігається якісний адгезійний контакт між покриттям і основою без тріщин і відшарувань.

Твердість отриманих покриттів становить $HV_{0,1}$ 10–14 ГПа, що нижче, ніж для компактного матеріалу. Це пов'язано з формуванням дрібнодисперсної структури покриття, яка містить тугоплавку і металеву фази, а також нижчої щільності покриття, ніж компактного матеріалу. Твердість матеріалу основи (2–3 ГПа) і підшару (4–5 ГПа) відповідає вихідним значенням.

Для одержаних покриттів також були визначені триботехнічні властивості в умовах тертя–ковзання без мастила. Випробування попередньо відшліфованих покриттів проводилися при різних швидкостях ($V = 1 \div 6$ м/с), тиску ($P = 1 \div 3$ МПа) і дистанції ($L = 1; 5$ км) тертя. При $V = 1$ м/с, $P = 1$ МПа зразки із сталі без покриття інтенсивно зношуються, тоді як розроблені покриття мають досить високу зносостійкість (рис. 3). Із збільшенням дистанції тертя інтенсивність зношування покриттів знижується, тоді як сталевих зразків без покриття істотно збільшується. Зниження інтенсивності зношування покриттів при

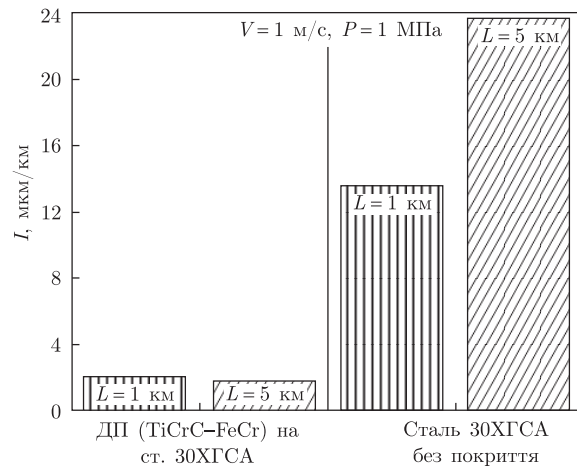


Рис. 3. Інтенсивність зношування сталі 30ХГСА з детонаційним покриттям (ДП) і без покриття при різних дистанціях тертя

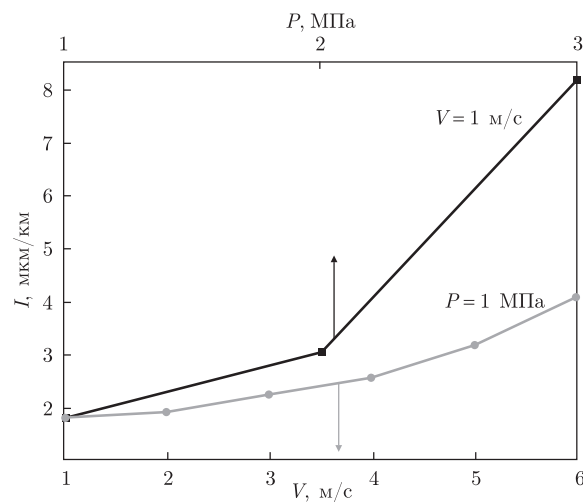


Рис. 4. Вплив тиску і швидкості тертя на інтенсивність зношування покриття ($L = 5$ км)

збільшенні дистанції тертя (див. рис. 3) пов'язане з припрацюванням покриттів, відсутністю адгезійної взаємодії між зразком і контртілом, а також, внаслідок підвищення температури, що інтенсифікує процеси формування вторинних структур в зоні тертя, які можуть виконувати функції твердого мастила. Для зразків без покриття збільшення дистанції тертя призводить до нагрівання зразків і зниження їх твердості, а відповідно — і зносостійкості (див. рис. 3). Із збільшенням тиску і швидкості тертя інтенсивність зношування покриттів збільшується (рис. 4). Швидкість тертя значно меншою мірою впливає на зносостійкість, ніж тиск. При збільшенні тиску від 1 до 2 МПа інтенсивність зношування збільшилася в два рази, хоч і залишалася відносно невеликою ($I = 3$ мкм/км). При $P = 3$ МПа темпи зростання інтенсивності зношування значно зростають ($I = 8,2$ мкм/км), що свідчить про зміни в механізмах тертя і зношування. При швидкостях тертя вище 4 м/с також відбувається збільшення темпів росту інтенсивності зношування (див. рис. 4), що може бути наслідком руйнування або виносу з зони тертя вторинних структур, зниження

рівня механічних властивостей, пов'язаного з підвищенням температури робочих поверхонь.

На інтенсивність зношування розроблених покриттів при терті-ковзанні без мастила швидкість тертя значно менше впливає, ніж навантаження. При високих швидкостях і малих навантаженнях працюють підшипники ковзання, ущільнювачі. Поєднання високих швидкостей і навантажень в одному вузлі є надзвичайно екстремальними умовами роботи і зустрічається досить рідко. В промисловості більш поширеними є вузли тертя з високими навантаженнями і відносно малими швидкостями (направляючі вали і втулки підйомно-транспортних машин, деталі машин поліграфічної і паперової промисловості тощо). Саме в таких умовах можуть бути використані розроблені покриття.

Таким чином, проведені дослідження показали, що розроблені композиційні порошки на основі карбіду титану-хрому є перспективним матеріалом для детонаційного напилення робочих поверхонь сталевих деталей. Отримані покриття характеризуються хорошими механічними і триботехнічними властивостями та рівномірною дрібнодисперсною гетерофазною структурою. Однією з потенційних галузей застосування розроблених покриттів можуть бути поверхні валів, втулок, направляючих, які працюють в умовах тертя-ковзання без мастила при досить високих навантаженнях ($P = 1 \div 3$ МПа).

1. Борисов Ю. С., Харламов Ю. А., Сидоренко С. Л., Ардртовская Е. Н. Газотермическое покрытия из порошковых материалов. – Киев: Наук. думка, 1987. – 550 с.
2. Самсонов Г. В. Эпик А. П. Покрyтия из тугоплавких соединений. – Москва: Металлургия, 1973. – 400 с.
3. Астахов Е. А. Основные аспекты управления свойствами детонационных покрытий // Порошк. металлургия. – 2008. – № 1/2. – С. 91–104.
4. Щепетов В. В., Волхов А. М. Увеличение износостойкости детонационных покрытий путем оптимизации режимов нанесения // Трение и износ. – 1990. – № 5. – С. 844–848.
5. Уманский А. П., Коновал В. П., Панасюк А. Д. и др. Структура и свойства плазменных покрытий из композиционных порошковых сплавов системы (TiCrC)–Fe–Cr // Порошк. металлургия. – 2007. – № 3/4. – С. 37–45.
6. Коновал В. П., Уманський О. П., Панасюк А. Д. та ін. Формування електроіскрових покриттів із композиційних матеріалів на основі карбіду і дибориду титану-хрому // Сверхтв. материалы. – 2009. – № 4. – С. 84–91.
7. ГОСТ 18318–94. Порошки металлические. Определение размера частиц сухим просеиванием. – ИПК “Изд-во стандартов”, 1996.
8. ГОСТ 20899–98. Порошки металлические. Определение текучести с помощью калиброванной воронки (прибора Холла). – ИПК “Изд-во стандартов”, 2001.
9. ГОСТ 19440–94. Порошки металлические. Определение насыпной плотности. Часть 1. Метод с использованием воронки. – ИПК “Изд-во стандартов”, 1996.

*Інститут проблем матеріалознавства
ім. І. М. Францевича НАН України, Київ*

Надійшло до редакції 21.10.2014

В. П. Коновал, В. В. Акопян, А. Д. Костенко, К. Н. Гальцов, Т. В. Мосина

Механические и триботехнические свойства детонационных покрытий из композиционного материала на основе карбида титана-хрома

Методом детонационного напыления на образцах из конструкционной стали получены покрытия из композиционного конгломерированного порошка на основе карбида титана-хрома. Исследованы технологические свойства порошка для напыления, а также состав, структу-

ра, механические и триботехнические свойства покрытий из него. Полученные покрытия имеют гетерофазную мелкодисперсную структуру с равномерным распределением фаз и высокую износостойкость ($I = 2 \div 3$ мкм/км) в условиях трения-скольжения без смазки при нагрузках до 2 МПа.

V. P. Konoval, V. V. Akopyan, A. D. Kostenko, K. N. Galtsov, T. V. Mosina

Mechanical and tribotechnical properties of detonation coatings of a composite on the basis of Ti–Cr carbide

The coatings of titanium-chromium-carbide-based composite powders have been deposited on a structural steel by the detonation method. The technological properties of the powders for spraying, as well as the composition, structure, and mechanical and tribotechnical properties of the coatings, have been studied. The obtained coatings have heterophase fine structure with uniform phase distribution, high wear-resistance ($I = 2 \div 3$ mkm/km) under dry friction-sliding condition at loads up to 2 MPa.