

*В. І. Дворук, д-р техн. наук, проф.,
М. В. Кіндрачук, д-р техн. наук, проф.*

ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ МАТРИЦІ НА СТРУКТУРУ І АБРАЗИВНУ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ МАКРОГЕТЕРОФАЗНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО СПЛАВУ

Національний авіаційний університет

Досліджено вплив легування матриці тугоплавкими карбідотворюючими елементами на структуру і трибологічні властивості композиційного сплаву. Встановлено, що визначальну роль у формуванні абразивної зносостійкості грає концентрація зерен реліту, а роль матриці складається у їх місному закріпленні.

Завдання дослідження. Застосування наплавлених композиційних сплавів на основі реліту (евтектичного сплаву моно- і напівкарбідів вольфраму) для покриттів робочих поверхонь деталей машин є одним з найефективніших способів підвищення їх абразивної зносостійкості. Для нанесення таких покриттів використовують різні методи наплавлення, зокрема, плазмовий, а також різні наплавлявальні матеріали, а саме, стрічковий реліт. Необхідна умова технології плазмового наплавлення композиційних сплавів стрічковим релітом – наявність розплаву (рідкої фази), основу якого складає залізо. При взаємодії розплаву із зернами реліту відбувається істотне розчинення останніх і насичення розплаву вольфрамом та вуглецем. Завдяки цьому, створюються сприятливі умови для перебігу хімічних реакцій з виділенням чадного газу, наявність якого призводить до утворення великої кількості макродефектів (пор, тріщин тощо) у об'ємі матриці після кристалізації розплаву, що вкрай негативно відбивається на абразивній зносостійкості композиційного сплаву. Для усунення вказаних умов практикують легування матриці розкислювальними елементами з більшою спорідненістю до кисню ніж залізо. Так, зокрема, встановлено [1], що введення до складу наповнювача стрічкового реліту, поряд із зернами зміцнюючої фази, спеціальної шихти, яка містить у собі розкислювальні добавки дозволило практично повністю усунути макродефекти у матриці композиту і, відповідно, значно підвищити його зносостійкість при терті по закріпленому абразиву.

Однак, розкислення розплаву не усуває процес розчинення зерен реліту в ньому, а отже, насичення вольфрамом та вуглецем. Тому матриця композиційного сплаву, що сформувалась після кристалізації такого розплаву за своїм хімічним складом наближається до швидкорізальної сталі.

Результати мікрорентгеноспектрального аналізу показали [2] гетерогенність структури матриці і присутність у ній таких складових: «вторинних» залізовольфрамів карбідів (j – фаза – подвійний немагнітний карбід Fe_2W_2C і Θ – фаза – подвійний магнітний карбід Fe_3W_3C), твердого розчину вольфраму у залізі (γ -залізо), евтектик ($j + \gamma$) і ($j + \gamma + \Theta$). Основне джерело утворення вказаних складових це вуглець. Тому одним з раціональних шляхів керування структурою матриці може бути легування розплаву тугоплавкими хімічними елементами з більшою спорідненістю до вуглецю, ніж вольфрам, а саме ванадієм, ніобієм і титаном. Це дозволить «відібрати» вуглець у «вторинних» залізовольфрамів карбідів, утворити відповідні власні карбіди і, у такий спосіб, змінити співвідношення структурних складових у матриці композиційного сплаву. Завдяки зазначеному шляху вдалося істотно підвищити механічні властивості швидкорізальних сталей [3]. Однак його вплив на зносостійкість композиційного сплаву в умовах тертя по закріпленому абразиву залишається не з'ясованим, що зумовило необхідність постановки і проведення дослідження, результати якого представлені у даній роботі.

Методичне забезпечення дослідження. Для реалізації обраного шляху керування структурою композиту до складу шихти наповнювача стрічкового реліту, поряд з розкислювачами, додатково вводили легувальні інгредієнти – феросплави (ферованадій, фероніобій, феротитан) у кількості (масова частка) 1 – 3%.

Стрічковий реліт наплавляли на відповідні заготовки, з яких потім виготовляли зразки для структурних і триботехнічних досліджень. Наплавлення виконували плазмовим методом за допомогою напівавтоматичної установки УД 417.

З викладеного вище випливає, що для характеристики структури композиційного сплаву необхідно визначити як мінімум чотири її складові: зерна реліту, «вторинні» залізовольфрамів карбіди, евтектики і надлишкові кристали γ -заліза. Кількісний аналіз вмісту вказаних складових проводили на структурному аналізаторі

«ЕРІQHАNT». Хімічний склад структурних складових визначали на мікрорентгеноструктурному аналізаторі «САМЕСА MS-4». Випробовування матриць композитів на мікротвердість проводили на приладі ПМТ – 3.

Триботехнічні випробовування композитів в умовах тертя по закріпленому абразиву проводили згідно з методикою [4]. Знос вимірювали ваговим методом на електронних терезах «Negema».

Експериментальна та аналітична частина. Результати проведеного дослідження структурних і трибомеханічних властивостей композиційних сплавів представлені у табл. 1, 2.

Таблиця 1

Вплив легування шихти стрічкового реліту на структуру композиційного сплаву і вміст вольфраму у його складових

Структурна складова композиту	Система легування матриці	Масова частка, %	
		структурної складової	вольфраму в структурній складовій
Зерна реліту	W-C	46	–
	W-C-Al-Si-Mn-Cr	48	–
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-V	48	–
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-Nb	47	–
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-Ti	45	–
Вторинні залазовольфрамкові карбіди	W-C	21–23	68–74
	W-C-Al-Si-Mn-Cr	18–20	68–74
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-V	7–11	67–72
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-Nb	4–8	66–71
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-Ti	2–5	64–69
Евтектики	W-C	52–54	36–38
	W-C-Al-Si-Mn-Cr	48–46	35–44
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-V	47–50	33–42
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-Nb	46–49	30–41
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-Ti	31–35	29–40
Твердий розчин вольфраму у залізі (γ-залізо)	W-C	24–26	12–15
	W-C-Al-Si-Mn-Cr	33–35	11–14
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-V	44–49	10–13
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-Nb	46–51	9–12
	W-C-Al-Si-Mn-Cr-Ti	59–63	8–11

Вплив легування шихти стрічкового реліту на механічні і триботехнічні властивості композиційного сплаву

Система легування матриці	Мікротвердість матриці, МПа	Абразивний знос, $\epsilon \times 10^{-3}$
W-C	840	32,3
W-C-Al-Si-Mn-Cr	910	9,9
W-C-Al-Si-Mn-Cr-V	1000	9,9
W-C-Al-Si-Mn-Cr-Nb	890	17,5
W-C-Al-Si-Mn-Cr-Ti	940	46,9

Звідки видно, що легування матриці ванадієм не впливає на знос сплаву порівняно зі сплавом з розкисленою матрицею, тоді як легування ніобієм і особливо титаном вкрай негативно відбивається на величині абразивного зносу (табл. 2). Порівняння абразивного зносу з мікротвердістю матриці (табл. 2) і вмістом структурних складових у композитах показало існування корелятивного зв'язку лише з одним параметром – концентрацією зерен реліту у композиті, тоді як рештою параметрів такого зв'язку не виявлено. Отже, негативний вплив легування матриці ніобієм і титаном на абразивний знос композиту є наслідком того, що вказані елементи сприяють зменшенню концентрації у його об'ємі зерен реліту. Найімовірнішим поясненням цього може бути підвищення температури розплаву за рахунок теплового ефекту екзотермічної реакції утворення ніобієм і титаном власних карбідів. На користь такої точки зору свідчать, зокрема, довідкові дані (табл. 3) [5], щодо теплоти утворення карбідів елементами, які входять до складу шихти наповнювача стрічкового реліту, що підтверджують дуже високу величину цього показника для карбідів ніобію і титану.

Таблиця 3

Теплота утворення різних карбідів [5]

Карбід	Cr_2C_3	Fe_3C	Mn_3C	VC	NbC	TiC
Теплота утворення карбїду, кал/моль	+8550	+8940	+23000	+49500	+52000	+57250

Судячи з результатів проведеного дослідження, концентрація зерен реліту грає визначальну роль у формуванні зносостійкості композиту при терті по закріпленому абразиву.

На особливу увагу заслуговують такі факти: по-перше – істотне підвищення зносостійкості лише розкислюваної матриці; по-друге – відсутність кореляції абразивного зносу з мікротвердістю матриці. Ці факти дають підстави для припущення, що серед властивостей матриці найбільший вплив на зносостійкість чинить її дефектність, яка визначає міцність закріплення зерен реліту у композиті.

Для оцінки отриманих результатів важливу інформацію дає мікроскопічний аналіз зношених поверхонь, який показав наявність на ній системи паралельних ліній – подряпин, вирізаних або видавлених абразивними частинками, що орієнтовані у напрямку руху зразка. Отже, при ковзанні по абразиву відбувається як занурення останніх у метал так і переміщення його уздовж поверхні. На ділянках матриці, що безпосередньо примикають до зерен реліту, спостерігаються зони перекриття, які свідчать про захисну роль зерен реліту для цих ділянок. Судячи з усього, роль зерен реліту у формуванні зносостійкості композита складається у такому: по-перше – зерна реліту перешкоджають зануренню абразиву в матрицю, по-друге – вони слугують перешкодою на шляху переміщення абразивних частинок, що занурились у матрицю і сприяють їх нейтралізації за рахунок руйнування. Зрозуміло, що вплив зерен реліту буде тим ефективнішим, чим вище їх концентрація і міцність закріплення у матриці.

Висновки. У результаті цієї роботи встановлено:

1. Вирішальний вплив на зносостійкість композиту при терті по закріпленому абразиву чинить концентрація зерен реліту.
2. Внесок матриці у формуванні абразивної зносостійкості композиту складається у забезпеченні міцного закріплення в ній зерен реліту.
3. Міцність закріплення зерен реліту у матриці визначається її дефектністю.
4. Легування розкисленої матриці тугоплавкими карбидоутворюючими елементами або не впливає на зносостійкість композиту (ванадій) або сприяє її зниженню (ніобій, титан) за рахунок інтенсифікації розчинення зерен реліту у розплаві.

Список літератури

1. Дворук В.І. Попередження пороутворення у макрогетерофазному композиційному сплаві як засіб підвищення його абразивної зносостійкості// Проблеми тертя та зношування наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. –Вип.52. – С. 185 – 191.

2. *Овчинникова Т.С.* Исследование структуры армированного слоя шарошек буровых долот и её влияние на износостойкость: Автореф. диссертации кандидата технических наук/ МИНХ и ГП им. И.М.Губкина. – М., 1968. –29 с.

3. *Геллер Ю.А.* Инструментальные стали/ М.: Металлургия, 1983.– 527 с.

4. *Дворук В.І.* Реолого-кінетична концепція абразивної зносостійкості та її реалізація в керуванні працездатністю механічних трибосистем: Автореф. диссертации доктора техн. наук/– К. НАУ, 2007. –40с.

5. *Ланская К.А.* Жаропрочные стали / – М.: Металлургия, 1969. – 247с. – Библиограф.: С.241–246.

Дворук В.І., Киндрачук М.В. **Влияние легирования матрицы на структуру и абразивную износостойкость макроготерофазного композиционного сплава // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 55. –С.106–111.**

Исследовано влияние легирования матрицы тугоплавкими карбидообразующими элементами на структуру и триботехнические свойства композиционного сплава. Установлено, что определяющую роль в формировании абразивной износостойкости играет концентрация зерен релита, а роль матрицы состоит в их прочном закреплении.

Табл. 3, список лит. 5 наим.

Influence of alloying of matrix on a structure and abrasive wear-proofness of macroheterophase of composition alloy.

Influence of alloying of matrix refractory karbidogenerating elements is investigational on a structure and tribotechnical properties of composition alloy. It is set that determining role in forming of abrasive wearproofness is played by the role of matrix consists of their durable fixing.

Стаття надійшла до редакції 05.04.2011