

форми щілини і не залежить від кута натікання потоку на решітку (рис.5), тому діапазо стійкого обтікання лопаток в решітці значно збільшується.

Список літератури

1. *Терещенко Ю.М.* Аэродинамика компрессорных решеток. – М.: Машиностроение, 1979. – 120 с.
2. *Терещенко Ю.М.* Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров. – М.: Машиностроение, 1988. – 168 с.
3. *Терещенко Ю.М., Митрахович М.М.* Аэродинамика компрессоров с управлением отрывом потока// Тр. Ин-ту математики НАН України, – К. – Т. 16. 1996. – 250с.
4. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1969. – 742 с.
5. *Javur M. M., Murthy K.S., Kar S.* The introduction of leading edge slats to improve the of design performance of axial flow fans// Int. Conf. Fan Des. And Appl., Guildford, Sept., 1982. Cranfield, 1982. –P.281-295.
6. *Felix A., Emery J. C.* A comparison of typical Gas Turbine Establishment and NACA axial-flow compressor blade sections in cascade of low speed. NASA TN 3937.

Стаття надійшла до редакції 06.07.01.

УДК 621.891

ББК К 413.25 + К 644, 378

В.І. Дворук

ТРИБОТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Визначено оптимальний склад наповнювача стрічкового реліту регулюванням взаємодії зерен реліту з розплавом і технологічний режим плазмового наплавлення композитів.

Захист від абразивного зношування є актуальною проблемою, оскільки від 50 до 80 % випадків передчасного виходу з ладу різних машин, механізмів і обладнання пов'язано з абразивним зношуванням [1]. Як найбільш ефективний, а іноді єдино можливий метод вирішення цієї проблеми запропоновано створення композитів. Композити являють собою клас матеріалів, при утворенні яких зносостійка фаза у вигляді твердих частинок певного розміру, форми і концентрації готується заздалегідь, а матриця формується при кристалізації розплаву. Отже фазові співвідношення в композитах створюються штучно і тому можуть регулюватися, забезпечуючи у такий спосіб необхідні триботехнічні властивості.

Композиція «зерна реліту – матриця на основі заліза» застосовується для підвищення абразивної зносостійкості бурового обладнання та інструменту [2–4], будівельної техніки [5] тощо. При навантаженні тертям зерна реліту є основою, яка сприймає питомі контактні навантаження. Матриця служить демпфуючим матеріалом для релаксації напружень тертя. Тому триботехнічні властивості композита будуть визначатися здатністю зерен реліту і матриці виконувати притаманні їм функції при терті.

Для одержання таких композитів найчастіше використовують різні способи наплавлення, серед яких в останні роки все більшого застосування набуває спосіб плазмового наплавлення. Перевагами цього способу над іншими є можливість наплавлення будь-яких металів і сплавів, повної автоматизації процесу наплавлення, широкий діапазон режимів наплавлення, простота, мінімальний вплив температурного циклу наплавлення на механічні властивості основи тощо. Найбільш ефективним наплавним матеріалом для плазмового наплавлення є стрічковий реліт [3; 4; 6; 7], який являє собою порошкову стрічку з наповнювачем із зерен реліту і шихти. Вагомими технологічними перевагами цього матеріалу у порівнянні з іншими є краще змочування металу і більш низький температурний інтервал плавлення матриці.

Сутність одержання композиту способом плазмового наплавлення полягає в наведенні на поверхні основи зварювальної ванни розплавленням стрічкового реліту. В середині цієї ванни відбувається взаємодія розплаву із зернами реліту, результатом якої є частковий розчин зерен внаслідок дифузії вольфраму і вуглецю в рідку фазу. Геометричні розміри зерен реліту при цьому суттєво зменшуються, а в ряді випадків (при розмірі зерен 0,3 мм) вони

можуть повністю розчинитися. Після кристалізації утворюється композит, що містить у собі зерна реліту, закріплені в матриці. Основними структурними складовими матриці є твердий розчин вольфраму в залізі (γ – залізо), подвійна ($\gamma + \eta$) і потрійна ($\gamma + \eta + \theta$) евтектики, а також “вторинні” залізовольфрамові карбіди. Під впливом цих структурних складових матриця стає крихкою.

В механізмі абразивного зношування композитів лежить міцнісна основа [6]. Тому здатність зерен реліту і матриці виконувати свої функції при терті, а отже, і зносостійкість композита буде, в основному, залежати від їх міцності. Зменшення геометричних розмірів зерен реліту і кришення матриці в результаті взаємодії розплаву із зернами реліту в зварювальній ванні негативно впливають на їх міцність. У зв'язку з цим триботехнічний потенціал дефіцитного і коштовного матеріалу виявляється нереалізованим. Оскільки розчин зерен реліту при плазмовому наплавленні є неминучим, єдино можливий шлях розкриття триботехнічного потенціалу композита – регулювання цього процесу. Регулювання може здійснюватися за рахунок наплавного матеріалу, а також технологічного режиму наплавлення.

Для здійснення регулювання за рахунок наплавного матеріалу можна намітити декілька напрямів [7]. Перший з них – регулювання площини поверхні контакту зерен реліту з розплавом підбором їх розмірів і форми. Насичення розплаву вольфрамом і вуглецем зростає при збільшенні площини поверхні контакту зерен із розплавом у міру зменшення їх розміру і зменшується при переході від осколочної до сферичної форми зерен.

Другий напрям – застосування для зерен реліту захисних покриттів на основі нікелю. Покриття значно знижує кількість вольфраму і вуглецю в матриці. Практично оптимальним є покриття товщиною 0,1 мм.

Третій напрям – регулювання структури матриці за допомогою її легування хімічними елементами, що мають більшу спорідненість до вуглецю ніж вольфрам, а, саме, ніобієм, ванадієм і титаном [8; 9]. Введення в розплав цих елементів дозволяє “відібрати” вуглець у “вторинних” залізовольфрамових карбідів і утворити свої власні карбіди меншого об'єму з кращими механічними властивостями.

Для оцінки впливу кожного із вказаних напрямів регулювання на триботехнічні характеристики композита останній наплавляли на основу зі сталі 3. Товщина наплавленого шару складала $\delta = 5 \cdot 10^{-3}$ м. Наплавлення виконували на станку УД-417. Як наплавний матеріал використовували стрічковий реліт, в наповнювач якого входили зерна реліту і шихта, що складалася з розкислюючих, легуючих і флюсоутворюючих інгредієнтів. Склад наповнювача варіювався зміною типу наповнювача (реліт, реліт + шихта, реліт + шихта з додаванням ніобію, реліт + шихта з додаванням ванадію, реліт + шихта з додаванням титану), типу зерен реліту (осколочний, сферичний, окатаний, плакірований) розмірів зерен реліту (0,45 – 0,63 мм, 0,63 – 0,9 мм, 0,9 – 1,6 мм). Об'єктом дослідження була трибосистема композит – шліфувальний круг ПП450×63×203 24А40С2 ГОСТ 2424 – 83 з електрокорунду білого.

Триботехнічні іспити проводили на модернізованій установці ЛКІ-3 за методикою [6]. Робочим середовищем був водяний розчин бентонітової глини (умовна в'язкість $\gamma = 27$ с, густина $\rho = 1,15 \cdot 10^2$ Н/м²), що містив у собі 2,2–2,6 % шламу гранітної породи. Контактний тиск складав $P = 1,055$ МПа. Знос зразків вимірювали на аналітичних терезах “NAGEMA” з точністю 0,001 г. Результати триразових вимірювань зносу статистично обробляли.

Вивчення впливу розміру зерен реліту на триботехнічні властивості композита показало, що мінімальний знос спостерігався при розмірі зерен реліту 0,63 – 0,9 мм (рис.1). У залежності від типу зерен реліту найменший знос композита забезпечували зерна сферичної форми. Серед типів наповнювачів мінімальний знос був при наповнювачі зерна реліту + шихта і зерна реліту + шихта з додаванням ванадію.

Макроскопічний аналіз показав наявність на зношеній поверхні паралельних ліній – подряпин, що вирізані або вичавлені абразивними частинками і орієнтовані за напрямом руху шліфувального круга. Такий характер рельєфу свідчить про те, що за даних умов має міс-

це занурення абразиву в матеріал і переміщення його по поверхні тертя. На ділянках матриці, що прилягають до зерен реліту, можна бачити зони перекриття, які свідчать про захисну роль зерен для цих ділянок. Отже, зерна реліту мають вирішальний вплив на зносостійкість композита. По-перше, зерна реліту перешкоджають зануренню абразиву в матрицю, по-друге – служать бар'єром на шляху переміщення абразивних частинок, що занурилися в матрицю, який сприяє їх нейтралізації за рахунок руйнування.

Вплив зерен реліту буде тим ефективніше, чим вище їх міцнісні характеристики [6]. Саме цим може бути пояснений найменший знос композита із зернами реліту сферичної форми розміром 0,63 – 0,9 мм. Вплив матриці на зносостійкість композита за даних умов значно менший ніж зерен реліту, але недооцінювати його не слід. Про це свідчить хоча б той факт, що первинний акт абразивного зношування – занурення абразиву в поверхню можливий лише у матриці. Тому міцність її має бути достатньою для протидії цьому акту. Найбільш міцною є матриця після наплавлення стрічковим релітом з наповнювачем із зерен реліту і шихти, а також зерен реліту і шихти з додаванням ванадію.

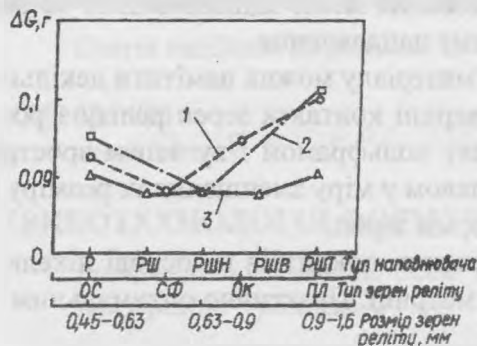


Рис. 1. Зміна зносу (ΔG) композита в залежності від складу стрічкового реліту: типу наповнювача, типу зерен реліту, розміру зерен реліту:

1 – тип зерен реліту; 2 – розмір зерен реліту; 3 – тип наповнювача;
P – зерна реліту; PSH – зерна реліту + шихта; PSHN – зерна реліту + шихта з додаванням ніобію; PSHV – зерна реліту + шихта з додаванням ванадію; PSHG – зерна реліту + шихта з додаванням титану); OC – осколочний; SF – сферичний; OK – окатаний; PL – плакований

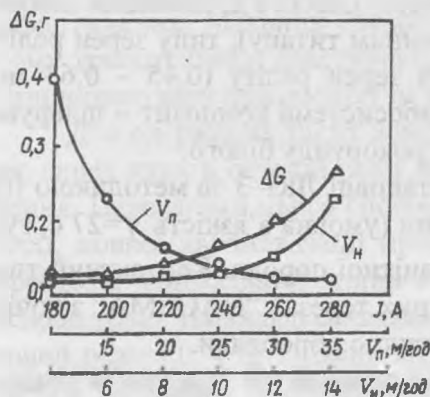


Рис. 2. Зміна зносу ΔG композита в залежності від технологічних параметрів процесу плазмового наплавлення: зварювального струменя I , швидкості подавання V_p , швидкості наплавлення V_n

ною є матриця після наплавлення стрічковим релітом з наповнювачем із зерен реліту і шихти, а також зерен реліту і шихти з додаванням ванадію.

Виходячи з результатів експерименту (рис.1), найбільшу абразивну зносостійкість буде забезпечувати стрічковий реліт, до складу наповнювача якого входять зерна реліту сферичної форми розміром 0,63 – 0,9 мм і шихта або шихта з додаванням ванадію.

Для регулювання розчину реліту в розплав технологічним режимом наплавлення було проведено дослідження впливу основних технологічних параметрів процесу плазмового наплавлення на абразивний знос композита. Технологічні параметри процесу плазмового наплавлення змінювали в наступних межах:

- струмінь дуги прямої дії I , – 180 – 340 А;
- швидкість наплавлення V_n , – 4 – 20 м/год;
- швидкість подавання наплавлювального матеріалу V_p – 10 – 50 м/год.

Вихідний режим наплавлення був такий: $I=220A$, $V = 34$ В, $V_n = 8$ м/год, $V_p = 20$ м/год, витрати плазмоутворюючого газу 2 л/хв, витрати захисного газу 6 л/хв, амплітуда коливань плазмового пальника 25 мм, частота коливань плазмового пальника 35 хв⁻¹. Як наплавний матеріал використовували стрічковий реліт з вибраним наповнювачем.

Оцінку впливу кожного із вказаних параметрів процесу виконували наплавленням при декількох його значеннях, зберігаючи решту параметрів режиму сталими.

Встановлено, що найбільше впливає на знос композиту сила струменя плазмової дуги (рис.2). Це пояснюється тим, що з підвищенням сили струменя збільшується час існування і об'єм зварювальної ванни. Отже збільшується час контакту розплаву із зернами реліту, наслідком чого є їх розчин і відповідне зменшення концентрації, а в результаті – збільшення зносу.

Швидкість наплавлення при значеннях, наближених до вихідних, помітно не впливає на знос композиту. Однак при подальшому її збільшенні формування наплавленого сплаву погіршується, що спочатку призводить до деякого збільшення зносу. Згодом з'являються несплавлення, зникає загальна зварювальна ванна, знижується ступінь проплавлення основного металу, що в результаті робить неможливим здійснення процесу наплавлення.

Швидкість подавання наплавного матеріалу при її невеликих значеннях забезпечує одержання зварювальної ванни великого об'єму, що призводить до значного розчину зерен реліту і відповідного збільшення зносу. Нарощування швидкості подавання стрічкового реліту веде до збільшення маси металу, що надходить в плазмову дугу. На розплавлення цього металу потрібна більша кількість теплоти. Формування наплавленого металу покращується, і відповідно зменшується його знос. При подальшому збільшенні швидкості подавання маса металу, яка надходить в плазмову дугу, стає надлишковою, що в результаті приводить до неможливості ведення процесу наплавлення.

На підставі одержаних результатів можна зробити висновок про існування оптимальної області основних технологічних параметрів процесу плазмового наплавлення стрічковим релітом з вибраним наповнювачем, які забезпечують мінімальний абразивний знос композита. Такою є область, де параметри плазмового наплавлення змінюються в таких межах: $I = 220 - 240$ А, $V_H = 4 - 6$ м/год, $V_{II} = 25 - 30$ м/год.

Список літератури

1. Голубец В.М., Пашечко М.И. Износостойкие покрытия из эвтектики на основе системы Fe-Mn-C-B. -К.: Наук. думка, 1989. - 160 с.
2. Мархасин Э.Л., Шрейбер Г.К. Поверхностное упрочнение деталей нефтяного оборудования и инструмента. - М.: Гос.науч.-тех. изд-во нефтяной и горно-топливной лит., 1959. - 180 с.
3. Стойкость буровых долот / Н.А. Жидовцев, К.Б. Кацов, Г.В. Карпенко и др. - К.: Наук. думка, 1979. - 244 с.
4. Дворук В.И. Научные основы повышения абразивной износостойкости деталей машин. -К.: КМУГА, 1997. - 101с.
5. Петров И.В., Домбровская И.К. Повышение долговечности рабочих органов дорожных машин наплавкой. - М.: Транспорт, 1970. - 104 с.
6. Шевеля В.В., Дворук В.И., Довжок В.Е., Радченко А.В. Обеспечение триботехнических свойств композиционных материалов при абразивном изнашивании // Проблемы трибологии. - 2000. - №1(13). - С.68-73.
7. Жудра Л.П., Белый Л.И. Новые композиционные материалы и результаты исследования их свойств // Теоретические основы наплавки. Наплавленный металл. -К.: Наук. думка, 1977. - С.151 - 157.
8. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. - М.: Металлургия, 1983. - 527 с.
9. Гудремон Э. Специальные стали. - М.: Металлургиздат, 1959. -Т.1-952 с.

Стаття надійшла до редакції 06.07.01.

УДК 621.793

М.Ф. Дмитриченко, Є.К.Фень, В.В.Малишкін, В.Н.Дмитренко

ПІДВИЩЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗА РАХУНОК ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ЇХ ГАЗОТЕРМІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Розглянуто газотермічні методи нанесення зносо-жаростійких покриттів на деталі авіаційної техніки, які працюють у широкому діапазоні температур

В сучасних конструкціях літаків, вертольотів, газотурбінних двигунів використовується велика номенклатура деталей, що працюють у широкому діапазоні температур (від мінус 60 °С до плюс 700-1200 °С), агресивних середовищах, надзвукових швидкостях, знакозмінних навантаженнях, робочі поверхні яких потребують зміцнення та відновлення зносо-жаро-