

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.3(88).14923

Т. С. ЧЕРЕПОВА¹, О. В. ТІСОВ¹, М. В. КІНДРАЧУК¹, А. О. ЮРЧУК¹,
О. В. РАДІОНЕНКО²

¹Національний авіаційний університет, Україна

²Приазовський державний технічний університет

ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРОШКОВОГО СПЛАВУ СИСТЕМИ СО-ТІС В УМОВАХ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФРЕТИНГУ

Виконано огляд сучасних технологій нанесення захисних зносостійких покриттів триботехнічного призначення. Встановлено, що для зміцнення поверхонь широко використовується карбід титану як компонент таких покриттів. Це дозволяє досягти не тільки підвищення зносостійкості, але і реалізувати ефект самозаліковування поверхні тертя. Цей матеріал є перспективним для створення металевих композитів для високотемпературного застосування. Таким чином, метою роботи є встановлення триботехнічних властивостей нового сплаву системи Со-ТіС триботехнічного призначення. Було виготовлено порошкові композиційні сплави на основі легованої залізом, алюмінієм і хромом кобальтової матриці. В якості високомодульної зміцнювальної фази було використано карбід титану. Вміст ТіС знаходився в межах 30-60 об. % Пористість змінювалася від 3,1% до 28%. Температури плавлення сплавів перевищують 1320 °С, і вони можуть проходити всі види технологічних процедур разом з лопатками турбін, включаючи пайку та дегазацію, без пошкодження, зміни структури. Проведено дослідження термічної стійкості і стабільності сплавів методами диференційного термічного аналізу. Сплави не мають додаткових теплових ефектів до плавлення, що підтверджує їх структурну стійкість. При дослідженні їх мікроструктури виявлено три типи складових – частинки ТіС, твердий розчин матриці (легований сплав на основі кобальту) та пори - структурні дефекти, що мають негативний вплив на всі досліджувані властивості. Досліджено вплив пористості на властивості сплавів. Встановлено, що зростання пористості з 3 до 28 відсотків знижує жаростійкість в 6,5 разу, в той час як зносостійкість за температури 650 °С знижується вдвічі. Доведено, що сплав на основі кобальту з 50% об. ТіС і пористістю 3,1 % відповідає вимогам до матеріалу для нанесення на бандажні полиці лопаток ГТД.

Ключові слова: покриття, порошковий сплав, зносостійкість, фретинг, кобальт, карбід титану, жаростійкість

Вступ. Проблемі підвищення потужності, надійності та довговічності приділяють особливу увагу під час проектування, експлуатації та ремонту авіаційних газотурбінних двигунів. Тривалий термін їх експлуатації сильно пов'язаний із зносостійкістю контактних поверхонь лопаток ротора турбіни. На них постійно впливають висока температура, великі навантаження, високі швидкості нагрівання та охолодження та продукти згоряння палива, що спричиняють корозію. Після тривалого використання лопатки турбіни зазвичай зношені на контактній поверхні бандажних полиць. Ефективним методом покращення їх зносостійкості є нанесення зносостійкого матеріалу на контактну поверхню бандажної полиці лопатки турбіни. [1].

Двигуни нового покоління повинні мати підвищені потужність, коефіцієнт корисної дії та знижену витрату палива. Це досягається технологічними методами, зокрема, підвищенням температури згоряння палива. У свою чергу, це все

призводить до збільшення навантаження (механічного та термічного) компонентів газотурбінного двигуна (ГТД), зменшуючи термін їх служби. Щоб подолати виникаючі проблеми, слід розробити нові матеріали. Ключові властивості - це жаростійкість, механічна (міцність на стиснення і зсув), стійкість до нагрівання. Вони повинні відповідати вимогам виробників двигунів [2].

На сьогоднішній день одним із методів, що застосовується для двигунів Мотор Січ, є використання ливарних евтектичних сплавів як матеріалу для різних процесів нанесення захисних покриттів. Вони наносяться на поверхню тертя баландажної полиці. Це сплави на основі кобальту ХТН-61 та ХТН-62 [3-4], які були найбільш широко використовуваними.

Ці сплави зміцнені частинками NbC. Грубіші частинки - доевтектичні кристали, дрібні частинки - продукт евтектичного перетворення. Кобальтова матриця одночасно зміцнена мікро- та макрочастинками карбіду. Це забезпечує комбінований механізм зміцнення. Зносостійкість природних композитів цього типу залежить від механічної міцності матриці, типу зміцнювача та співвідношення компонентів. Як правило, збільшення кількості карбідів сприяє поліпшенню зносостійкості. Однак кількість карбідів створює більші напруження в матеріалі матриці. В умовах високої температури це може спричинити розм'якшення матеріалу матриці, і спечений сплав не зможе виконати своє завдання.

Матриця цих сплавів має прийнятну жаростійкість, але недостатньо високий вміст карбідів. На жаль, кількість карбідів у литому сплаві обмежена: збільшення призводить до зростання зерна карбіду та крихкості. Подальше поліпшення зносостійкості можливо методами порошкової металургії. Це дозволяє точно контролювати кількість і розмір карбідів. У якості матричного матеріалу автори вирішили використовувати жаростійкі сплави на основі кобальту, що легований хромом, залізом та алюмінієм. В якості фази зміцнення був обраний карбід титану. Розроблені спечені сплави мають чудову зносостійкість у порівнянні із згаданими вище ливарними сплавами. Крім того, співвідношення компонентів та розмір карбідів можуть варіюватися в широкому діапазоні значень.

В даній роботі представлені результати досліджень зносостійкості спечених сплавів з жаростійкою матрицею та карбідом титану у якості зміцнюючої фази в умовах високотемпературного фретингу.

Актуальність та завдання дослідження. Частинки TiC широко використовуються для зміцнення конструкційних матеріалів. Це може бути як об'ємне, так і поверхневе зміцнення. Одним із методів є лазерне наплавлення попередньо розміщеного порошкового матеріалу на поверхні сталевій деталі [5]. Вони використовували частинки TiC із розміром зерен 10-14 мкм. Лазер забезпечує хороше зчеплення попередньо розміщених компонентів матеріалу та адгезію покриття до основи. Покриття композитним покриттям TiC-Co на поверхні сталі 20X13 виконано у роботі [6]. Тут використовувалося покриття для збільшення терміну експлуатації різних деталей машин, включаючи лопатки турбіни. Покриття мало складну структуру з декількох шарів. Основа покриття мала властивість самогартування, далі – перехідна зона, і, власне, саме покриття. Покриття складається з перенасичених дентритів кобальту з дисперсними частинками TiC. Для сталей може бути досягнутий додатковий зміцнюючий ефект, що забезпечується самогартуванням (залежно від марки сталі). Але у випадку суперсплавів це змінить склад і структуру поверхневого шару (в результаті інтердифузії та змішування розплаву), тому використання цього способу обмежене.

Аустенітна сталь тип 316L також є дуже популярним матеріалом як матриця для зміцнених TiC композитів [7]. Метод виготовлення – інфільтрація розплаву. Вміст TiC становив 70-90 об. %, розмір зерен 4... 10 мкм. Випробування на знос при ковзанні показали залежність між розміром зерен TiC та співвідношенням матриці та наповнювача. Більш грубий розмір зерен сприяє вищій питомій швидкості зносу, збільшення вмісту матриці збільшує швидкість зносу. Також було виявлено утворення трибошару з високим вмістом кисню. Переважний механізм зносу на початковій стадії – абразивний. При більш високих температурах на початковій стадії тертя утворюється трибохімічний шар, який може захистити матеріал від абразивної дії неокислених фрагментів зерен TiC. Автори [8] використовували 2 мас. % наночастинок TiC для значного посилення механічних властивостей аустенітної нержавіючої сталі тип 316L.

Композити TiC-Co вивчали Сан зі співавторами [9]. Зразки готували комбінуванням високоенергетичного подрібнення з подальшим рідкофазним спіканням. Розмір зерен TiC становив 7-10 мкм. Висвітлено важливість розміру зерна TiC та кількості матричного матеріалу з точки зору міцності, а саме, дрібні порошки Co пригнічують ріст зерна TiC під час спікання. Вони виготовлені композити на основі Co, зміцнені частинками TiC. Вони застосували метод вакуумного дугового плавлення складників сплавів. Більша кількість TiC сприяє укрупненню його зерен. Тест на знос ковзання дав багатообіцяючі результати.

У роботі [10] досліджено властивість частинок TiC вивільняти оксид TiO₂, що відіграє роль матеріалу для відновлення поверхні тертя. Це спостерігається лише при високих температурах, і може застосовуватися попереднє окислення поверхні, що демонструє приблизно на 29% кращу стійкість до окислення. Таким чином, частинки TiC, що містяться в металевих композитах, можуть мати ефект самолікування при високотемпературному терті та фретингу.

Узагальнивши вищезазначений матеріал, були зроблені наступні висновки:

TiC є дуже перспективним матеріалом, який буде використовуватися як фаза зміцнення у виробництві композитів для різних видів тертя. Вони мають хорошу зносостійкість при сухому терті ковзання. В якості матричного матеріалу використовується багато металів і сплавів, включаючи кобальт, нікель, сплави та сталі. Більшість авторів виготовляли композити методами спікання. Для більшості досліджень об'ємна частка карбідів становить 40-60%. Мікроструктурні дослідження вказують на хороше змішування та рівномірний розподіл легуючих елементів та твердих частинок у матричному матеріалі.

Отже, для поточного дослідження було важливо вивчити властивості виготовлених сплавів шляхом мікроструктурних досліджень та оцінити їх зносостійкість в умовах високотемпературного фретингу (до 1050 °C); вивчити їх термодинамічну стабільність та поведінку при високотемпературному окисненні та оцінити можливість використання цих матеріалів для захисту лопаток турбіни ГТД у якості пластин для напаювання на контактні поверхні бандажних полиць лопаток турбіни.

Матеріали і методи дослідження. В якості матричного матеріалу використано сплав на основі кобальту, виготовлений з таких компонентів: кобальтовий порошок ПК-1У (загальні домішки до 0,65%), хром ПАХ-99Х5, залізо ПВ1, алюміній ПА-0 та карбід титану. Зразки сплавів (таб. 1) виготовляли методом гарячого ізостатичного пресування на установці СПД-120, використовуючи графітові форми та індукційний нагрів. Повітря замінювали СО₂, щоб уникнути

окислення компонентів. Розмір частинок використовуваних порошків становив 5-20 мкм. Карбід титану TiC (за стандартом ТУ 06173-74) з розміром частинок 5... 10 мкм використовували як зміцнювальну фазу. Густина досліджуваних сплавів вимірювали методом гідростатичного зважування.

Температуру фазових перетворень - початку та кінця плавлення, початку та кінця затвердіння, перетворень у твердому стані визначали методом диференціальної скануючої калориметрії (ДСК) за допомогою приладу «Netzsch DSC 404 F1 Pegasus». Інший метод - диференціальний термоаналіз (ДТА) за допомогою високотемпературного диференціального термоаналізатора ВДТА-8М (зразки нагрівали зі швидкістю 50-80 °С/хв. в атмосфері гелію). Жаростійкість сплавів, що досліджувались, визначалася за приростом ваги на одиницю площі. Для випробування зразки поміщали в індукційну піч в окремий корундовий тигель. Нагрівання до $t = 1100$ °С проводилося в атмосфері лабораторного повітря. Інтервали часу відпалу – 10 годин з наступним охолодженням печі, загальний час відпалу 50 годин. Приріст ваги вимірювали після кожного етапу відпалу.

Таблиця 1

Склад досліджених сплавів

№	Co, мас.%	TiC		Легувальні елементи, мас.%			$T_{пл.}$, °С
		% об.	мас.%	Cr	Fe	Al	
1	55,5	30	17,84	19,6	2,95	2,95	1350
2	50,0	40	25,36	17,7	2,65	2,65	1320
3	43,83	50	33,8	15,51	2,33	2,33	1325
4	40	60	43	13,5	2	2	1320

Дослідження зносу матеріалу в умовах фретингу вимагає моделювання контактної взаємодії між суміжними поверхнями в режимі тангенціального коливального зміщення. У цій роботі такі умови були змодельовані на машині для випробування на знос МФК-1 [11]. Її схему показано на рис. 1.

Результати та обговорення. Мікроструктура сплавів показана на рис. 2. Зносостійкість та жаростійкість є структурно-чутливими властивостями. Співвідношення матриці та наповнювача є одним із вирішальних факторів зносостійкості. Мікроструктурні дослідження вказують на рівномірний розподіл компонентів сплавів. Є лише деякі області зі зниженим або підвищеним вмістом TiC, але вони не здатні змінити властивості досліджуваних матеріалів. Рис. 2 представляє мікроструктуру 50 об.% сплаву системи TiC+Co з різною пористістю. Чітко розрізняються три типи фаз. Найтемніша фаза – зерна TiC, що складаються з великої кількості титану з деякими домішками кобальту та хрому. На відміну від сплавів на основі нікелю, алюмінію та залізо у складі карбиду титану не виявлені. Сіра фаза – це твердий розчин на основі кобальту, що містить значно – більше 26 об. % хрому. Кількість інших легуючих елементів тут також вища, якщо порівнювати з номінальним складом. Цей твердий розчин кобальту із збільшеною кількістю легуючих елементів. Світла фаза – це твердий розчин на основі кобальту. Тут сегрегація хрому є більш значущою, і він містить менше домішок. Температура плавлення виготовлених сплавів є дуже важливим питанням. Вона повинна відповідати вимогам технологічному процесу виготовлення лопаток, особливо процедурам пайки та дегазації (1270 °С), тому в

нашому випадку, враховуючи неточності та випадкові відхилення температури, вона повинна бути не менше 1300 °С. Склад сплавів із вмістом TiC 30, 40, 50 і 60% (об'ємні частки), з кобальтом та їх температури плавлення наведено в табл. 1.

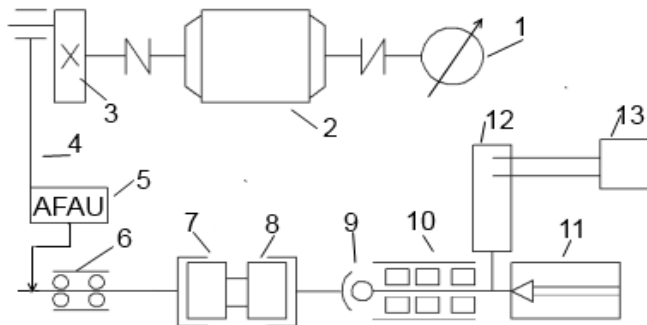
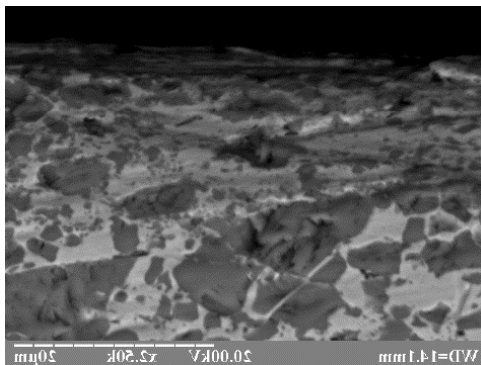
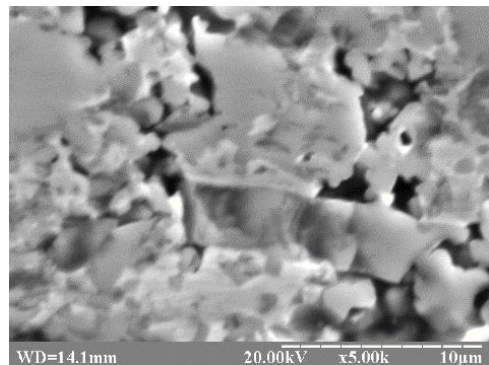


Рис. 1. Схема установки МФК-1: 1 – тахометр; 2 – електричний двигун; 3 – кривошипно-шатунний механізм; 4 – вертикальний стрижень; 5 – пристрій тонкого налаштування амплітуди коливань; 6 – передня бабка; 7 – рухомий зразок; 8 – нерухомий зразок; 9 – цанга на кульовій опорі; 10 – задня бабка; 11 – пристрій навантаження важільного типу; 12 – тензобалка і тензодатчик; 13 – ресстратор.



а



б

Рис. 2. Мікроструктура сплавів на основі кобальту з 50% об. TiC, а – пористість 3,1%, б – пористість 28%.

Криві нагрівання порошкових сплавів із вмістом TiC 30... 50%, отримані ДТА та ДСК, підтверджують можливість виготовлення композиційних матеріалів на основі кобальту без будь-яких фазових переходів у твердому стані. Відсутність будь-яких додаткових теплових ефектів при нагріванні є свідченням структурної та фазової стабільності виготовлених композиційних матеріалів. Вміст карбіду титану не робить помітного впливу на температуру плавлення. Виходячи з цього, можна стверджувати, що під час спікання TiC не розкладається. Мінімальна температура початку плавлення сплавів (температура солідусу) не менше 1320 ± 10 °С і не залежить від вмісту TiC в діапазоні 30 ... 50 об. %. Аналіз жаростійкості сплавів свідчить, що протягом перших 10 годин випробування високотемпературне окислення, яке протікає досить швидко, згодом воно сповільнюється і стає майже постійним. Жаростійкість сплавів залежить від жаростійкості матриці та наповнювача. Оскільки жаростійкість TiC менша, ніж жаростійкість кобальту, збільшення вмісту карбідів призводить до зниження жаростійкості. Іншим структурним фактором, що впливає на

термостійкість, є пористість. Випробування жаростійкості показують, що збільшення пористості призводить до зниження жаростійкості. Результати оцінки впливу пористості на жаростійкість сплавів на основі кобальту представлені на рис. 2, і це характерно для всіх сплавів, незважаючи на вміст матричного матеріалу та вміст карбідів. Це видно з рис. 5, що представляє приріст ваги при температурі 1100 °С для сплавів з однаковим вмістом TiC - 50 об.% але несхожа пористість.

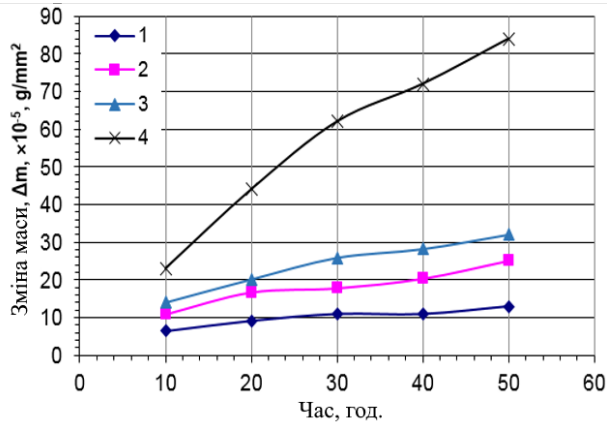


Рис. 3. Кінетика окислення сплавів на основі кобальту, що містять 50 об.% TiC з різною пористістю: 1 – 3,1%; 2 – 6,0%; 3 – 10,4%; 4 – 28,0%

Зростання пористості з 3 до 28% спричиняє зменшення жаростійкості втричі після 10 годин відпалу. Для сплавів 1-3 подальше випробування дає стійкий коефіцієнт прирощення маси, але для сплаву № 4 воно швидко змінюється. Після 50 годин відпалу, порівняно зі сплавом № 1, він має у 6,5 разів більший приріст ваги. Отримавши ці результати, ми припускаємо наявність впливу пористості на жаростійкість сплавів Co-TiC.

Результати дослідження впливу вмісту TiC на зносостійкість наведено на рис. 4. Отже, найвищою зносості вдається досягти при 50% об. карбиду титану.

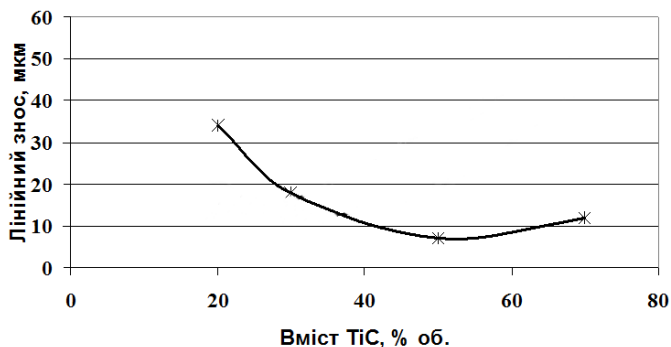


Рис. 4. Вплив вмісту TiC на зносостійкість сплаву

Зносостійкість сплавів при високих температурах залежить від жаростійкості та міцності при високій температурі. Результати випробування на зносостійкість сплавів на основі кобальту, у тому числі і [12-13] доводять, що ці сплави мають високу зносостійкість. Максимальна температура випробування становив-

ла 650 °С. На рис. 5 наведено результати дослідження впливу пористості на зносостійкість сплаву Co+50% об. TiC.

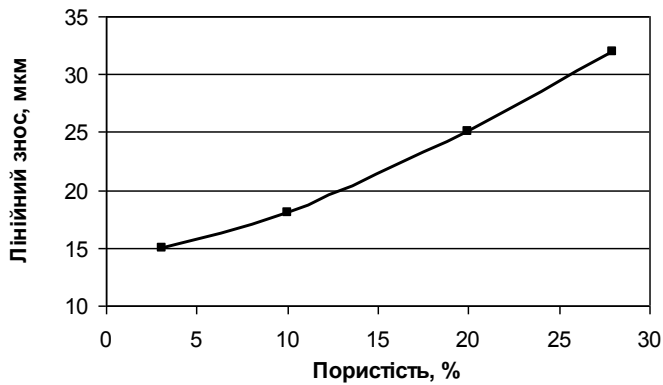


Рис. 5. Середній лінійний знос порошкових композиційних сплавів залежно від пористості. ($T = 650^{\circ}\text{C}$, $P = 30$ МПа, $A = 120$ мкм, 5×10^6 цикл.)

Таким чином, зростання пористості в матеріалі з 3 до 28 % призводить до дворазового зростання величини лінійного зносу.

Пояснити це можна тим, що високопористий матеріал (пористість 28% об.) не може ефективно перерозподіляти напруження, що виникають внаслідок дії сил тертя, всередину матеріалу і релаксувати їх. У пористому матеріалі прошарки кобальтової матриці під дією зовнішнього знакозмінного навантаження піддаються пружним деформаціям, величина яких, очевидно, збільшується зі зростанням пористості. Такі деформації значною мірою, є можливими за рахунок наявності пор. Це сприяє нагромадженню втомного пошкодження і утворенню мікротріщин, причому не завжди на межі розподілу карбідної і матричної фаз. Таким чином, зношування пористого матеріалу є більш інтенсивним, ніж малопористого. Поставленим у завданні роботи вигодам відповідає тільки малопористий сплав.

Висновки. На основі проведених досліджень встановлено, що виготовлений та досліджений в поточному дослідженні малопористий сплав з вмістом TiC 50 % об. і пористістю 3,1% має хороші значення температур плавлення, зносостійкості, жаростійкості та високі технологічні властивостей і може бути рекомендований для застосування в якості захисного матеріалу для бандажних полиць лопаток турбіни.

Список літератури

1. Tretiachenko G.N., Kravchuk G.N., Kuriat R.I., Voloshchenko A.P. Bearing capacity of gas turbines blades at nonstationary haet and force effect, Kyiv.: Naukova Dumka, 1975, 295p.
2. Lieontiev V.A., Zilichihis S.D., Kondratiuk Ye.V., Zamkovoі V.Ye. Recovery of workability of GTE using new technologies and materials, Herald of Engine Constructing, 2006, №4, 99–103.
3. Dmitrieva G.P., Cherepova T.S., Kosorukova T.A., Nichiporenko V.I. (2015) Structure and properties of wear resistant cobalt-based alloy with niobium carbide, Metal Physics and Advanced Technologies, 2015, Vol.37, №7, 973–986.
4. Dmytrieva H.P., Cherepova T.S., Dukhota O.I., Nychyporenko V.I. (2017), Investigation of properties of sintered alloys based on ZhS32-VI with titanium carbide, Powder Metallurgy, 2017, № 11/12, 68–75.

5. Chinmaya Kumar Sahoo, Manoj Masanta (2015). Effect of pulse laser parameters on TiC reinforced AISI 304 stainless steel composite coating by laser surface engineering process, *Optics and Lasers in Engineering*, 2015, 67, 36–48.

6. Wei Zhang. Research on Microstructure and Property of TiC-Co Composite Material Made by Laser Cladding, *Physics Procedia*, 2012, Vol. 25, 205-208

7. Chukwuma C. Onuoha, Chenxin Jin, Zoheir N. Farhat, Georges J. Kipouros, Kevin P. Plucknett. The effects of TiC grain size and steel binder content on the reciprocating wear behaviour of TiC-316L stainless steel cermets wear, *Wear*, 2016, vol. 350-351, 116–129.

8. Sakamoto T., Kurishita H., Matsuo S., Arakawa H, Takahashi S, Tsuchida M., Kobayashi S., Nakai K., Terasawa M., Yamasaki T., Kawai M. Development of nanostructured SUS316L-2%TiC with superior tensile properties, *Journal of Nuclear Materials*, 2015, 466, 468-476.

9. Sakamoto T., Kurishita H., Matsuo S., Arakawa H, Takahashi S, Tsuchida M., Kobayashi S., Nakai K., Terasawa M., Yamasaki T., Kawai M. Development of nanostructured SUS316L-2%TiC with superior tensile properties, *Journal of Nuclear Materials*, 2015, 466, 468-476

10. Taoyuan Ouyang, Jinyang Wu, Muhammad Yasir, Tong Zhou, Xuanwei Fang, Yan Wang, Dawei Liu, Jingpin Suo. Effect of TiC self-healing coatings on the cyclic oxidation resistance and lifetime of thermal barrier coatings, *Journal of Alloys and Compounds*, 2016, 656, 992-1003

11. Dukhota O.I., Tisov O.V.. The study on wear resistance of heat resistant composite alloys in conditions of high temperature fretting-wear, *Problems of friction and wear*, 2010, №53, 195-200

12. Cherepova T.S., Dmitrieva G.P. The Wear Features of Powder Cobalt Alloys Strengthened with Titanium Carbide, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2016, Vol. 55, № 5-6, 374-378.

13. Cherepova T.S., Dmytrieva H.P. Properties of titanium carbide-strengthened cobalt-based sintered alloys, *Metal Physics and Advanced Technologies*, 2016, Vol. 38, № 11, 1497–1512.

Кіндрачук Мирослав Васильович — член-кореспондент НАН України, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри машинознавства, стандартизації та сертифікації Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел./факс: +38 044 406 77 73, E-mail: nau12@ukr.net.

Тісов Олександр Вікторович — канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри машинознавства, докторант кафедри машинознавства, стандартизації та сертифікації Національного авіаційного університету. tisov@nau.edu.ua.

Черепова Тетяна Степанівна — докт. техн. наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник науково-дослідної частини Національного авіаційного університету. nau12@ukr.net.

Радіоненко Олександр Васильович – канд. техн. наук, доцент, кафедри «Технологія машинобудування» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», e-mail: radav50mar@gmail.com.

Юрчук Аліна Олександрівна – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету.

T. S. CHEREPOVA, O. V. TISOV, M. V. KINDRACHUK, A. O. YURCHUK,
O. V. RADIONENKO

TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF SINTERED CO-TiC ALLOY IN CONDITIONS OF HIGH TEMPERATURE FRETING WEAR

A review of modern technologies for the deposition of protective wear-resistant coatings for tribotechnical purposes has been conducted. It is established that titanium carbide is widely used to strengthen surfaces as a component of such coatings. We can achieve not only an increase in wear resistance, but also to realize the effect of self-healing of the friction surface. This material is promising for the creation of metal-based composites for high temperature applications. Thus, the tribotechnical properties of the new alloy of the Co-TiC system of tribotechnical purpose are established. Sintered composite alloys based on cobalt matrix (Co alloyed with iron, aluminum and chromium) were made. Titanium carbide was used as a high-modulus strengthening phase. The TiC content was in the range of 30-50 vol. % Porosity was changing in a range of 3.1% to 28%. The melting point of alloys exceeds 1320 °C, and they can undergo all kinds of technological procedures together with the turbine blades, including soldering and degassing, without damage, changes in structure. The research of thermal and structural stability of alloys by methods of differential thermal analysis were carried out. Alloys do not have additional thermal effect, which confirms their structural stability. The study of their microstructure revealed three types of components - TiC particles, matrix solid solution (cobalt-based alloy) and pores - structural defects that have a negative impact on all studied properties. The influence of porosity on the properties of alloys is investigated. It was found that increasing the porosity from 3 to 28 percent reduces the heat resistance by 3 times, while the wear resistance at a temperature of 650 °C is reduced twice. It is proved that an alloy based on cobalt with 50% vol. TiC and porosity 3.1% is prospective for the material application to the top shrouds of the blades of the gas turbine engine..

Keywords: coating, sintered alloy, wear resistance, fretting, cobalt, titanium carbide, heat resistance

References

1. Tretiachenko G.N., Kravchuk G.N., Kuriat R.I., Voloshchenko A.P. Bearing capacity of gas turbine blades at nonstationary heat and force effect, Kyiv.: Naukova Dumka, 1975, 295p.
2. Lieontiev V.A., Zilichihis S.D., Kondratiuk Ye.V., Zamkovo V.Ye. Recovery of workability of GTE using new technologies and materials, Herald of Engine Constructing, 2006, №4, 99–103.
3. Dmitrieva G.P., Cherepova T.S., Kosorukova T.A., Nichiporenko V.I. (2015) Structure and properties of wear resistant cobalt-based alloy with niobium carbide, Metal Physics and Advanced Technologies, 2015, Vol.37, №7, 973–986.
4. Dmytrieva H.P., Cherepova T.S., Dukhota O.I., Nychyporenko V.I. (2017), Investigation of properties of sintered alloys based on ZhS32-VI with titanium carbide, Powder Metallurgy, 2017, № 11/12, 68–75.
5. Chinmaya Kumar Sahoo, Manoj Masanta (2015). Effect of pulse laser parameters on TiC reinforced AISI 304 stainless steel composite coating by laser surface engineering process, Optics and Lasers in Engineering, 2015, 67, 36–48.
6. Wei Zhang. Research on Microstructure and Property of TiC-Co Composite Material Made by Laser Cladding, Physics Procedia, 2012, Vol. 25, 205-208
7. Chukwuma C. Onuoha, Chenxin Jin, Zoheir N. Farhat, Georges J. Kipouros, Kevin P. Plucknett. The effects of TiC grain size and steel binder content on the reciprocating wear behaviour of TiC-316L stainless steel cermets wear, Wear, 2016, vol. 350-351, 116–129.
8. Sakamoto T., Kurishita H., Matsuo S., Arakawa H, Takahashi S, Tsuchida M., Kobayashi S., Nakai K., Terasawa M., Yamasaki T., Kawai M. Development of nanostructured

SUS316L-2%TiC with superior tensile properties, *Journal of Nuclear Materials*, 2015, 466, 468-476.

9. Sakamoto T., Kurishita H., Matsuo S., Arakawa H, Takahashi S, Tsuchida M., Kobayashi S., Nakai K., Terasawa M., Yamasaki T., Kawai M. Development of nanostructured SUS316L-2%TiC with superior tensile properties, *Journal of Nuclear Materials*, 2015, 466, 468-476

10. Taoyuan Ouyang, Jinyang Wu, Muhammad Yasir, Tong Zhou, Xuanwei Fang, Yan Wang, Dawei Liu, Jingpin Suo. Effect of TiC self-healing coatings on the cyclic oxidation resistance and lifetime of thermal barrier coatings, *Journal of Alloys and Compounds*, 2016, 656, 992-1003

11. Dukhota O.I., Tisov O.V.. The study on wear resistance of heat resistant composite alloys in conditions of high temperature fretting-wear, *Problems of friction and wear*, 2010, №53, 195-200

12. Cherepova T.S., Dmitrieva G.P. The Wear Features of Powder Cobalt Alloys Strengthened with Titanium Carbide, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2016, Vol. 55, № 5-6, 374-378.

13. Cherepova T.S., Dmytrieva H.P. Properties of titanium carbide-strengthened cobalt-based sintered alloys, *Metal Physics and Advanced Technologies*, 2016, Vol. 38, № 11, 1497–1512.