
Композиційні матеріали

Тетяна Мосіна, Олег Григор'єв

ОТРИМАННЯ, СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ СИСТЕМИ TiN-AlN ДЛЯ ПОВЕРХНЕВІ ТЕРТЯ З ПІДВИЩЕНОЮ ЗНОСОСТІЙКІСТЮ

Вступ

Одним з провідних напрямків сучасного матеріалознавства є розробка матеріалів інструментального та конструкційного призначення на основі тугоплавких нітридів. При створенні матеріалів на основі нітридів дуже важливим є отримання структури, яка забезпечує покращення експлуатаційних властивостей матеріалів, а саме: зменшення крихкості та підвищення термостійкості, жаростійкості та інших експлуатаційних характеристик. Тому перспективними можуть бути гетерофазні матеріали на основі нітридів алюмінію та титану, які мають високу термічну та лімічну стабільність при високих температурах і при необхідних рівнях міцності.

Композити, порівняно з однофазними керамічними матеріалами, мають більш високий рівень фізико-механічних властивостей, що визначається комплексом структурних та термічних факторів. Так, спечений нітрид титану має підвищену крихкість та відносно невисокі рівні міцності ($\sigma_{\text{н}}=260$ МПа), що перешкоджає його широкому застосуванню. Однак нітрид титану має хімічну стійкість та високий опір абразивному зношуванню і є перспективним в якості захисних покриттів на ріжучому інструменті.

Система TiN-AlN була раніше досліджена і завершилася отриманням ударостійкого матеріалу та застосуванням його для бронееlementів, були отримані спечені композити TiN-AlN, армовані ніткovidними кристалами SiC і Si₃N₄ з рівнем тріщиностійкості, що визначається величинами 8-10 МПа м^{1/2}. Відомі покриття матеріалів системи TiN-AlN, які мають порівняно високі значення фізико-механічних ($\sigma_{\text{н}}=650$ МПа) та триботехнічних властивостей. Відомо, що міцність може

визначатися не тільки гетерофазністю покриття, але й високою дисперсністю та характеристиками розподілу їх структурних складових.

Однак, досі не відомі результати досліджень структурних характеристик та властивостей композитів в залежності від технологічних параметрів. За оцінками, що базуються на принципах структурного конструювання, а також беручи до уваги досвід попередніх робіт, реальним є досягнення високого рівня фізико-механічних і службових властивостей композитів за рахунок вибору технологічних умов їх отримання, складу та структурного стану. Тому розробка нових композиційних матеріалів системи TiN-AlN, зокрема атифрикційного, конструкційного призначення є актуальною.

Метою роботи було дослідження структури, фазового складу, фізико-механічних, корозійних, триботехнічних та експлуатаційних властивостей композиційних матеріалів системи TiN-AlN для вузлів тертя з підвищеною зносостійкістю. Відповідно до мети основними завданнями були: вибір технологічних параметрів виготовлення композитів для забезпечення підвищених експлуатаційних властивостей, дослідження процесу формування структури та розподілу фаз у гетерофазних матеріалах системи TiN-AlN; дослідження впливу технологічних параметрів (температури та тиску гарячого пресування (ГП), дисперсності, хімічного складу матеріалів) на структуру та властивості композиційних матеріалів (КМ) системи TiN-AlN; вивчення фізико - механічних та триботехнічних властивостей КМ системи TiN-AlN в інтервалі концентрацій 10-90 об. % AlN, вивчення корозійної стійкості розроблених КМ в інтервалі температур 20-1500⁰ С на повітрі та в модельній океанській воді; розробка технології процесу нанесення покриттів матеріалів системи Ti-Al-N на твердий сплав ВК-8 методом електроіскрового легування (ЕІЛ), дослідження структури, фазового складу та властивостей покриттів.

Аналітичний огляд літературних даних з фізико-механічних властивостей нітридів титану, алюмінію і матеріалів на їх основі показав, що нітрид титану знайшов широке застосування в якості захисного покриття. Нітрид алюмінію може застосовуватись як самостійний конструкційний матеріал, так і у вигляді структурної складової композиційних матеріалів. КМ системи TiN-AlN застосовуються як зносостійкі покриття, які мають порівняно високі значення експлуатаційних властивостей, що пояснюється наявністю потрійних сполук Ti-Al-N. Матеріали системи TiN-AlN порівняно з однофазною керамікою можуть мати вищий рівень триботехнічних, фізико-механічних

та експлуатаційних властивостей, тому розробка нових КМ системи TiN-AlN конструкційного призначення є актуальною.

Експериментальна частина

Зразки КМ системи TiN-AlN були отримані методом гарячого пресування без захисного середовища в графітових прес-формах на установці з індукційним нагріванням. Вивчена кінетика ущільнення розроблених КМ при ГП в залежності від температури з неперервним записом усадки зразка. Результати досліджень оцінювались з позиції теорії об'ємно-в'язкої течії пористого тіла. На отриманих зразках композитів визначались фізико-механічні, триботехнічні та корозійні властивості.

Фазовий аналіз проводили на дифрактометрах ДРОН-2,0, HZG-4 з використанням інформаційно-пошукової системи ФАЗАН, побудованої на базі пуллой-рентгенографічних даних JCPDS. Дослідження мікроструктури виконували на оптичному мікроскопі НЕОФОТ-21 та мікроскопі "СТЕРЕОСКАН". Механічні властивості оцінювали за стандартними методиками, випробування на тертя - за методикою, розробленою у ІПМ НАН України, криві диференціального термографічного (ДТА) та термогравіметричного (ТГА) аналізів в інтервалі температур 20-1020⁰ С записували на дериватографі марки ОД - 103, а в інтервалі 20-1500⁰ С на приладі фірми "Setaram".

Розглянуто два способи отримання композиційних матеріалів: з порошків інтерметалічних фаз системи Ti - Al (TiAl, TiAl₃, Ti₃Al) та їх азотуванні в потоці азоту; при змішуванні та одночасному подрібненні вихідних порошків нітридів TiN та AlN у відповідних співвідношеннях.

Порошки системи TiN-AlN, що отримані за першим способом, мали наступні переваги: порівняно гомогенний розподіл нітридних фаз, відсутність домішок (таких як кисень), досить тонкодисперсний склад (тобто вони не потребували додаткового подрібнення). Вивчено кінетику азотування інтерметалідів TiAl, TiAl₃ та Ti₃Al в області температур 1200-1400⁰ С, встановлено склад продуктів реакції (табл.1) та механізм процесів. Процес азотування давав можливість отримати чисті первинні порошки нітридів. Разом з тим, азотування є процесом багатостадійним, потребує багато часу, що у свою чергу приводить до великих витрат енергії. За другим способом, в якості вихідних компонентів використовували порошки нітридів титану та алюмінію Донецького заводу хіміктивів.

Таблиця 1

Технологічні параметри та фазовий склад композиційних порошків системи Ti-Al-N, отриманих азотуванням інтерметалідів

Інтерметалід	Температура азотування, °С	Час, год	Фаза спостереження	Параметри ґратки, нм		
				a _{TiN}	a _{AlN}	c _{AlN}
Ti ₃ Al	1200	3	TiN + AlN	0,4241(1)	0,3111(1)	0,4979
		6	TiN + AlN	0,4240(1)	0,3111(1)	0,4979
	1300	3	TiN + AlN	0,4242(2)	0,3111(1)	0,4979
	1400	3	TiN + AlN	0,4238(2)	0,3111(1)	0,4979
	1400	6	TiN + AlN	0,4240(1)	0,3111(1)	0,4979
TiAl	1200	3	TiN	0,4242(2)	0,3111(1)	0,4978
	1300	3	+AlN+TiAl	0,4240(1)	0,3111(1)	0,4979
	1400	3	TiN + AlN TiN + AlN	0,4241(1)	0,3111(1)	0,4979
TiAl ₃	1200	3	TiN	0,4242(2)	0,3111(1)	0,4979
		6	+AlN+TiAl ₃	0,4241(1)	0,3111(1)	0,4979
	1300	3	TiN + AlN	0,4242(2)	0,3111(1)	0,4979
	1400	3	TiN	0,4240(1)	0,3111(1)	0,4979
	1400	6	+AlN+TiAl ₃ TiN +AlN+TiAl ₃ TiN+AlN	0,4238(2)	0,3111(1)	0,4979

При гарячому пресуванні КМ системи TiN-AlN у межах концентрацій 10-90 об.% AlN усадка проходить протягом 5-15 хв в інтервалі температур 1750-1850⁰ С та тиску 30 МПа. Відносна пористість зразків не перевищує 3 %. Відомості про щільність та фазовий склад розроблених матеріалів наведені в табл. 2 ($\rho_{від}$ – відносна щільність; ПРФА – пуллой-рентгенівський фазовий аналіз).

Таблиця 2

Склад та щільність композитів TiN-AlN

Склад композиту		Щільність, $\rho / \rho_{від}, \text{г} / \text{см}^3$	Фазовий склад за ПРФА
мол., %	об., %		
TiN-100	TiN-100	5,35/0,97	TiN a=0,42454 нм

Склад композиту		Щільність, $\rho / \rho_{\text{від}}, \text{ г / см}^3$	Фазовий склад за ПРФА
мол., %	об., %		
TiN-10AlN	TiN-11,3AlN	5,05/0,99	TiN a=0,42459 нм AlN a=0,31115 нм c=0,49790 нм
TiN-25AlN (3 TiN-AlN)	TiN-27,9AlN	4,72/0,99	TiN a=0,42474 нм AlN a=0,31115 нм c=0,49790 нм Fe (0,7 %- хім.аналіз)
TiN-35AlN	TiN-38,5AlN	4,39/0,96	TiN a=0,42465 нм AlN a=0,31115 нм c=0,49790 нм
TiN-50AlN (TiN-AlN)	TiN-53,7AlN	4,13/0,98	TiN a=0,42459 нм AlN a=0,31115 нм c=0,49790 нм Fe (0,8 %- хім.аналіз)
TiN-65AlN	TiN-68,3AlN	3,68/0,97	TiN a=0,42492 нм AlN a=0,31115 нм c=0,49790 нм
TiN-75AlN (TiN-3AlN)	TiN-77,7AlN	3,58/0,99	TiN a=0,42494 нм AlN a=0,31115 нм c=0,49790 нм Fe (0,9 %- хім.аналіз)
TiN-90AlN	TiN-91,4AlN	3,26/0,98	TiN a=0,42496 нм AlN a=0,31115 нм c=0,49790 нм
AlN100	AlN100	3,01/0,98	AlN a=0,31115 нм c=0,49790 нм

Розраховане значення ефективної енергії активації процесу ГП для вмісту 50% TiN- 50 %AlN складає 5,0 Дж. Розраховане із експериментальних даних значення енергії активації для складу 50%TiN - 50% AlN є меншим, ніж за даними лінійної екстраполяції, що вказує на активацію процесу спікання гетерофазних сумішей, який супроводжується зниженням температури і ізотермічної витримки при їх ГП

Результати та обговорення

Структура, фазовий склад та фізико-механічні властивості розроблених КМ системи TiN- AlN.

Основною домішкою у композитах системи TiN-AN було залізо (до 4 мас % у порошках після розмелювання 0,8-0,9% - у композиті). Гаряче пресування шихти TiN-AlN-Fe призводить до утворення композиту, який містить у собі зерна AlN, TiN та обмежений твердий розчин заліза на основі TiN.

Встановлено, що збільшення періодів ґратки нітрида титану в міру зменшення його кількості у композиті пов'язане зі збільшенням концентрації заліза по відношенню до нітрида титану

Гаряче пресування призводить до істотної зміни ширини (b) пелю-рентгенівських дифракційних кривих. Ширина b (2υ) має тангенціальну залежність, що дозволяє інтерпретувати зміни ширини як наслідок зміни рівня мікронапружень. На рис.1 приведена залежність мікрореформацій від складу композицій гарячого пресування. Як видно із рис.1, величина мікрореформацій мінімальна для однофазних станів, та різко збільшується для двофазних композитів (ϵ_{II} до $1,5 \cdot 10^{-3}$, σ_{II} до 600 -700 МПа) (рис.1). Така поведінка характерна для випадків, коли природа мікрореформацій пов'язана з пружними міжфазними взаємодіями, а самі мікрореформації локалізовані в приграничних ділянках через високу неоднорідність їх розподілу та значні градієнти.

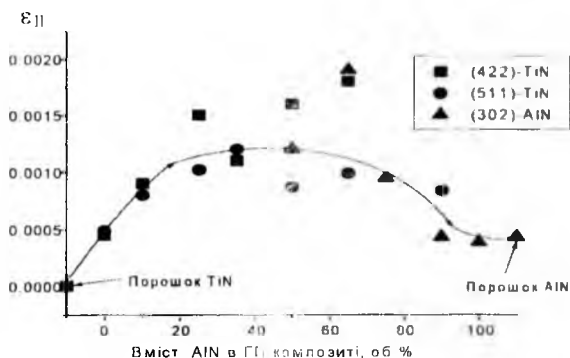


Рис.1. Зміна мікрореформацій у фазах TiN та AlN в залежності від складу композитів

На рис.2 приведені залежності механічних властивостей (міцності, тріщиностійкості, твердості) для КМ TiN- AlN, з яких видно, що в інтервалі 25%-75% AlN значення міцності, тріщиностійкості методом визначення (SEVNB) та твердості композитів суттєво перевищують значення таких же параметрів однофазних матеріалів і досягають 750 МПа та 4,4 МПа·м^{1/2} відповідно при рівні твердості 13-15 ГПа у широкому інтервалі навантаження на індентер (2-500 Н). Твердість залежить від навантаження на індентер, а поблизу відбитків утворюються тільки радіальні тріщини без мікророзтріскування та викришування. Матеріали мають високу контактну міцність.

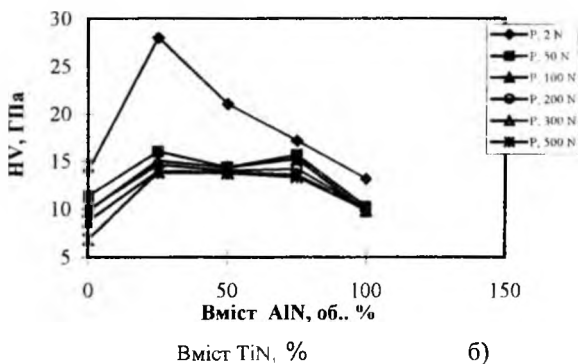
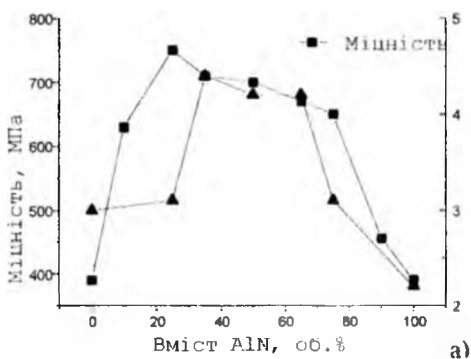


Рис.2. Залежність механічних властивостей від складу композитів а- міцність і тріщиностійкість, б- твердість

Певно, що високі механічні властивості композитів знаходяться у прямій залежності від високого рівня мікродеформацій. Локальні неоднорідні поля напружень повинні у мікроскопічному масштабі спричинити відхилення поширенні тріщин від прямолінійності, а також до перехід від руйнування під діями тільки нормальних напружень відриву до руйнування, що визначається в локальних областях дотичними напруженнями. Наслідком буде збільшення в'язкості руйнування, а, отже, і збільшення міцності, а також твердості, що і спостерігається експериментально.

Результати розрахунку тріщиностійкості композитів за моделями Галанова та Григор'єва показали, що при наявності псевдомакронапружень максимум механічних властивостей повинен спостерігатися в інтервалі концентрацій TiN ~ 25-35 % при розмірі зерна 2-5 мкм.

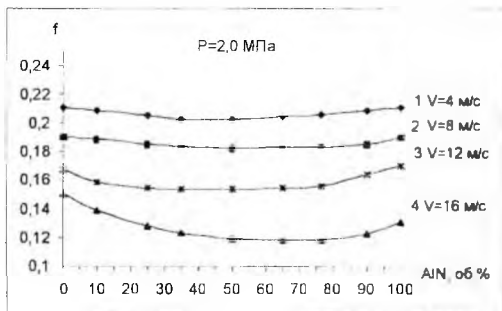
2. Триботехнічні властивості композиційних матеріалів Ангіфрикційні властивості досліджували в широкому інтервалі швидкостей ($v=4-16$ м/с) та навантажень (0,5 -2,0 МПа) на машині тертя МТ-68, розробленій у ІІМ НАН України, за схемою вкладка - вал з використанням пальчикового зразка - за стандартною методикою без подання мастила у зону контакту в парі зі сталлю 65 Г.

Встановлено, що при постійному тиску $P=2,0$ МПа та поетапному збільшенні швидкості від 4 до 16 м/с коефіцієнт тертя знижується, та залежно від складу знаходиться в межах 0,20-0,11 (рис.3а). Те ж саме спостерігається при постійній швидкості $V=16$ м/с та поетапному збільшенні тиску від 0,5 до 2,0 МПа (рис 3 б). Інтенсивність зношування практично не залежить від значень швидкості в діапазоні її зміни та в інтервалі складів 25-75 %AlN знаходиться приблизно на рівні $(5,0-6,5) \cdot 10^{-9}$ (рис. 4а) (при цьому інтенсивність зношування пари сталь-сталь становить $1 \cdot 10^{-6}$). Аналогічна закономірність спостерігається при постійній швидкості ковзання ($V=16$ м/с) та поетапному збільшенні тиску (0,5-2,0 МПа)(рис.4б).

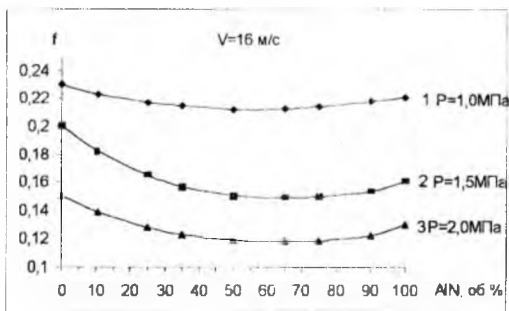
Порівняння залежностей механічних (Рис 2) та триботехнічних властивостей (рис.3 і 4) від складу композитів вказують на їх прямий зв'язок: гетерофазні матеріали з високим рівнем механічних властивостей виявляються і більш зносостійкими, що має місце при абразивному механізмі зношуванні. Однак поглиблене вивчення хімічної взаємодії матеріалів фрикційних пар вказує також на суттєвий вплив термохімічних ефектів на триботехнічні характеристики.

При терті пари "кераміка TiN- AlN- сталь" утворюються оксидні плівки, які забезпечують високі триботехнічні властивості, виконуючи

роль твердого мастила. При високих швидкостях і навантаженнях у зоні контакту виникають температури, за яких можливе окиснення матеріалу з утворенням оксидних шарів, що мають високі адгезійні властивості до керамічної основи та одночасно виконують роль твердого мастила. Для підтвердження такого механізму мащення проводилось окиснення матеріалів, які містять із 25; 50 та 75 % AlN в інтервалі температур 400-1100⁰ С протягом 3 год. у повітрі. За даними пульпой-рентгенофазного аналізу встановлено, що оксидні плівки з'являються вже при 600⁰ С.

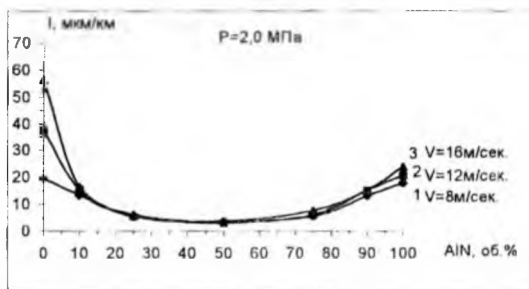


а)

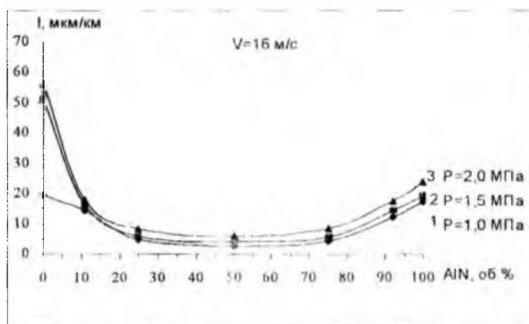


б)

Рис.3. Залежність коефіцієнта тертя композиту від вмісту AlN : а) при постійному тиску P=2 МПа і ступінчастому збільшенні швидкості; б)при постійній швидкості (V= 16 м/с) і ступінчастому збільшенні тиску.



а)



б)

Рис.4. Залежність інтенсивності зношування композиту від вмісту AlN в : а) при постійному тиску $P=2$ МПа і ступінчастому збільшенні швидкості; б) при постійній швидкості ($V=16$ м/с) і ступінчастому збільшенні тиску

Встановлено, що на окисленій поверхні двофазних матеріалів утворюються : тіаліт - Al_2TiO_5 , рутил - TiO_2 та у невеликих кількостях $\alpha-Al_2O_3$. При високих швидкостях та навантаженнях у зоні контакту в місцях значного локального навантаження виникають температури, за яких можливе окиснення матеріалу

Гетерофазна плівка, що утворюється, міцно зчеплена з основою, оскільки Al_2TiO_5 і $\alpha-Al_2O_3$ мають високу адгезію до поверхні керамічного

матеріалу та досить слабку адгезію до матеріалу контртіла - сталі. Тому, в процесі тертя така плівка зберігається та одночасно виконує роль твердого мастила, що зменшує коефіцієнт тертя.

Таким чином, процес зношування кераміки TiN - AlN буде визначатися утворенням вторинних структур - оксидних шарів, які мають високі адгезійні властивості до матеріалу та виконують роль твердого мастила, сприяючи зниженню коефіцієнта тертя та зносу.

Високотемпературне окиснення та корозійні властивості матеріалів системи TiN - AlN.

Високотемпературне окиснення матеріалів системи TiN - AlN в молярному співвідношенні 3:1 (N1), 1:1 (N2) та 1:3 (N3) , що відповідає складам композитів 25; 50 та 75% AlN, проводили на порошках та зразках композитів.

Встановлено, що при неізотермічному окисненні у повітрі порошків температура початку окиснення (440°C) у всіх трьох випадках співпадає. Для порошків TiN - AlN (3:1) та (1:1) до 1200°C процес відбувається у дві стадії. На першій стадії продуктом окиснення є TiO_2 - рутил, на другій - Al_2TiO_5 - β - титанат алюмінію. Для порошків TiN-3AlN механізм окиснення є тристадійним. На першій стадії (до 700°C) продуктом окиснення є TiO_2 - рутил, на другій (до 900°C) - α - Al_2O_3 , на третій (до 1045°C) - Al_2TiO_5 .

Відповідно за TGA - кривими, всі три зразки до 900°C характеризуються однаковою та надзвичайно високою окисностійкістю.

Характер кривих зміни ентальпії для відповідних стадій окиснення компактних зразків у комплексі із проведеним пулюй-рентгенографічним аналізом окалини на суцільних зразках загалом підтверджує механізм окиснення, встановлений для порошків. Так, на відповідних ДТА - кривих для керамік 3 TiN:AlN та TiN:AlN спостерігається два екзотермічних піки окиснення, мало зміщених за температурою, тоді як для зразка TiN - 3AlN - три екзотермічних піки (665 ; 895 та 1055°C). Середній пік (895°C) характеризує утворення в окалині цієї кераміки проміжного оксидного шару - α - Al_2O_3 . Захисні властивості визначаються перш за все структурою зовнішнього шару окалини, що вміщує Al_2TiO_5 . Однак α - Al_2O_3 формує всередині окалини бар'єрний шар, що перешкоджає швидкій дифузії кисню всередину окалини. Дійсно, кераміка складу TiN - 3AlN виявилась більш корозостійкою. При цьому рекомендації щодо максимальної температури тривалого застосування вивченої кераміки на повітрі в залежності від складу такі : 1) 3TiN : AlN... 1050°C ; 2) TiN : AlN... 1300°C ; 3) TiN - 3AlN... 1450°C .

Вивчені також корозійні властивості композиційних матеріалів системи TiN-AlN із співвідношенням компонентів 3:1, 1:1 та 1:3, що відповідають складам 25; 50 та 75 % AlN за допомогою електрохімічного методу поляризаційних кривих у агресивному електроліті 3 % NaCl (модельна океанська вода). Результати дослідження підтвердили високу корозійну стійкість цих матеріалів.

Надзвичайно корозостійким виявився композит з еквімолярним співвідношенням компонентів, на поверхні якого при значній анодній поляризації утворюється двофазна захисна плівка, яка складається із гідроксооксиду алюмінію $AlO(OH)$ та титанату натрію Na_4TiO_4 .

Проведено дослідження механізму формування структури та властивостей покриттів на твердому сплаві ВК-8, отриманих електроіскровим легуванням (ЕІЛ) електродними матеріалами системи TiN - AlN без зв'язки та із Ni-Cr зв'язкою. Показано, що у процесі формування покриття утворюється градієнтна структура, яка складається з оксидних фаз.

Наявність Ni-Cr зв'язки у матеріалі електроду, з однієї сторони призводить до зниження дефектності та збільшення мікротвердості покриття через вплив пластифікатора, а з іншої сторони - забезпечує підвищення корозійної стійкості та рівня триботехнічних властивостей.

Висновки

1. За технологією гарячого пресування (ГП) отримано та досліджено композиційні матеріали (КМ) системи TiN - AlN в області концентрацій від 10 до 90 об. % AlN. Оптимізовано склади КМ та оптимальні режими ГП, визначено кінетику ущільнення.

2. Показано, що структура КМ характеризується відносно високою дисперсністю (середній розмір зерна 1-3 мкм), рівномірним розподілом фаз, відсутністю взаємодії між ними. Матеріали системи TiN - AlN мають високі фізико - механічні властивості: $HV - 13-15$ ГПа (при навантаженні 2-500 Н), міцність на згин $\sigma_{\text{зг}} = 650-750$ МПа, тріщиностійкість 4- 4,4 МПа·м^{1/2}.

3. Досліджено кінетику та механізм високотемпературного окиснення композиційних матеріалів системи TiN - AlN із співвідношенням компонентів (3:1); (1:1) та (1:3). Встановлено, що у процесі окиснення відбувається утворення оксидів α - Al_2O_3 , TiO_2 - (рутил), при взаємодії яких утворюється плівка Al_2TiO_5 , яка є захисним бар'єром для дифузії кисню і водночас має високу адгезію до поверхні КМ.

4. Вперше вивчено фізико- механічні властивості композитів у зв'язку з їх напружено - деформованим станом, при цьому показано, що механічні властивості двофазних композитів залежать від рівня локальних неоднорідних полів напружень.

5. За комплексними дослідженнями триботехнічних властивостей пари "кераміка TiN-AlN-сталь" встановлено їх взаємозв'язок із механічними властивостями та з'ясовано закономірності процесу тертя і зношування у повітрі при високих швидкостях та навантаженнях. Показано, що в процесі тертя у зоні контакту утворюються вторинні оксидні плівки, які виконують роль твердого мастила і тим самим сприяють зниженню витрат на тертя.

6. Вперше досліджено кінетику та механізм високотемпературного окиснення КМ системи TiN-AlN до температур 1500°C на повітрі та корозію цих матеріалів у модельній океанській воді, при цьому встановлено, що у процесі окиснення відбувається утворення оксидів α -Al₂O₃ та TiO₂, при взаємодії яких утворюються плівка β - Al₂TiO₃, яка є захисним бар'єром для дифузії кисню і водночас має високу адгезію до поверхні КМ.

Рекомендовані температури тривалого застосування КМ системи TiN - AlN у окиснювальному середовищі складають : 3TiN - AlN-1050⁰ C; TiN - AlN - 1350⁰ C; TiN - 3AlN-1450⁰ C

Встановлена закономірність формування захисних плівок, які утворюються при анодній поляризації і визначають високу корозійну стійкість композитів у модельній океанській воді.

7. Встановлена закономірність формування структури покриттів на твердому сплаві ВК-8, отриманих електроіскровим легуванням (ЕІЛ) матеріалами системи TiN-AlN без зв'язки та з Ni-Cr зв'язкою

1. Високотемпературне окислення порошків та композиційних матеріалів системи TiN - AlN /В.О. Лавренко, Т.В. Мосина, А.Д. Панасюк, О.Н. Григор'єв // Доповіді НАН України.-1997 -№12.-С.139.
2. Фрикционные свойства композиционных материалов системы TiN - AlN I Влияние структуры и фазового состава на процесс трения и износа материалов системы TiN - AlN /Т.В. Мосина, А.Д. Панасюк, А.И. Юга, О.Н. Григорьев // Порошковая металлургия -1999 -№11-12 - С.104.
3. Фрикционные свойства композиционных материалов системы TiN - AlN.II Влияние оксидных пленок на процесс трения и изнашивание системы керамический материал - сталь /Т.В. Мосина, А.Д. Панасюк,

- О.Н. Григорьев, А.И. Юга // Порошковая металлургия.- 2000.-№1-2 - С.121.
4. Григорьев О.Н., Мосина Т.В., Бродниковский Н.П. Горячепрессованные композиты системы TiN - AlN. Ч. I Структура и свойства // Огнеупоры и техническая керамика - 2001. - №9 - С. 32.
 5. Development of TiN - AlN ceramic and investigation of their physicomechanical properties /O.N.Grigoriev, T.V.Mosina, A.D. Panasuyk, N.P.Brodnisovsky // 5-th Conference of the European Cer. Soc., Versaillies (France).- 1997.-P 2044.
 6. Григорьев О.Н., Мосина Т.В. Композиционные материалы системы TiN - AlN // Труды Международной конференции "Новейшие процессы и материалы в порошковой металлургии"-Киев.-1997 -С.322.
 7. Коррозионные свойства композитов системы TiN - AlN в 3% растворе NaCl /В.А. Лавренко, В.А. Швец, Т.В. Мосина, О.Н. Григорьев // Труды международной конференции "Новейшие процессы и материалы в порошковой металлургии" -Киев -1997.-С.274.
 8. Влияние металлической связки на износостойкость покрытий /И.А. Подчерняева, А.Д. Панасюк, В.А. Лавренко и др// Труды международной конференции "Новейшие процессы и материалы в порошковой металлургии" -Киев.-1997 -С 202.
 9. Corrosion of TiN - AlN ceramic in 3% NaCl solution /V.A. Lavrenko, V.A. Shvets, T.V. Mosina, V.N. Talash // 9-th Cimtec World Ceramic Congress -Florence (Italy).-1988 -P.469.
 10. Hightemperature oxidation of TiN - AlN composite ceramics /A.D. Panasuyk, M. Desmaison-Bruti, J. Desmaison, T.V.Mosina //9-th Cimtec World Ceramic Congress -Florence (Italy) -1988 -P.851
 11. Development of composite nitride powder from Intermetallics of TiN - AlN system /T.S.Bartnitskaya, S.B.Prima, T.V.Mosina and others // 9-th Cimtec World Ceramic Congress.-Florence (Italy).-1988 -P.28.
 12. Antifriction composite materials of TiN - AlN system /T.Mosina, A.Panasuyk, A.Yuga, O.Grigoriev // 6-th Conf of European Cer.Soc. - Brighton (United Kingdom). 1999. -P.241
 13. Preparation on TiN - AlN composite powder and study of properties /T.Bartnitskaya, S.Prima, D.Yakovleva, and others. // 6-th Conf of European Cer.Soc.- Brighton (United Kingdom).-1999.-P 435

Mosina T., Grigoriev O. Fabrication, formation of structure and properties of composite materials of TiN - AlN system in friction parts with high wear resistance. The experimental study of materials of TiN - AlN system is the

concentration range of 10-90 vol.%AlN was carried out. The TiN - AlN composites in the concentration range of 25-75 % AlN have high physical - mechanical properties. The magnitudes of strength and toughness coefficient are equal to 750 MPa and $4,4 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ respectively, at the hardness level of 13-15 GPa. The investigation of tribotechnical properties of composites developed was carried out under the friction without lubrication in pair with thermally treated steel in the pressure interval of 0,5-0,2 MPa at the velocities of 4-16 m/s. At the velocity 16 m/s and pressure 2,0 MPa friction coefficient is equal to 0,15-0,11, and linear wear- 6,0-5,7 μm . Kinetics and mechanism of high - temperature oxidation (up to 1500°C) of TiN - AlN composite materials were studied. During oxidation $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ and TiO_2 (rutile) oxides are formed. At their further interaction the Al_2TiO_5 film is formed, the latest being protective barrier for oxygen diffusion. The corrosion resistance of composites in 3 % NaCl solution was studied as well. The composite with equimolar ratio of components proved to be the most corrosion resistant. The investigation of mechanism of structure formation and properties of both TiN - AlN and TiN - AlN with Ni-Cr binder coating on W-Co8 hard alloy, deposited by ESA method, was carried out. The advances of Ni-Cr binder content in the electrode material has been shown. The recommendations were made concerning the application of new composite materials of TiN - AlN system. Fig.4, Tabl.2, Litr.13