УДК 621.432

ВПЛИВ ВАКУУМ-ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ НА МІКРОТВЕРДІСТЬ ПОВЕРХОНЬ З ТИТАНОВОГО СПЛАВ

С. Маркович, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет

А. Рутковський, канд. техн. наук, доцент
Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренко НАН України, м. Київ, Україна.

Широкому розповсюдженню титанових сплавів, зокрема в літакобудівній та аерокосмічній промисловості сприяють їх важливі операційні якості: висока міцність, стійкість до агресивного середовища, достатня міцність при підвищеній температурі тощо [1,2].

Однією з найважливіших переваг таких сплавів є перевищення сталевих сплавів в 2 рази по питомій міцності в діапазоні температури до 300°С. Межа міцності $\sigma_в$ складно легованих титанових сплавів досягає 1500 МПа з відносним подовженням при розриві від 8 до 15 %. Теплостійкі титанові сплави працюють у температурному діапазоні до 700°С. Стійкість до корозії сплавів титану у багатьох агресивних середовищах знаходиться на рівні стабільності срібла та платини. [3,4]

Використання титанових сплавів стримується низькою стійкістю до повзучості при температурі вище 550 ° С, низькою стійкістю до вібрацій, взаємодії з газовим середовищем при підвищеній температурі та низька мікротвердість. У вузлах тертя ці сплави неопераційні без затвердіння поверхневої обробки та покриттів. [5,6]

У практиці поверхневого зміцнення титанових сплавів відоме використання майже всіх традиційних технологій зміцнюючий покриттів. Незважаючи на те, що був набутий значний досвід в покращенні механічних та триботехнічних характеристик титанових сплавів, задовільне рішення не отримано. Загальним недоліком є той факт, що поліпшення однієї характеристики при застосування покриттів призводить до значного зниження інших характеристик. Наприклад, збільшення резистентності до ерозії супроводжувалося зменшенням межі витривалості то що. [7,8]

Одним з технологічних методів підвищення мікротвердості титанових сплавів є нанесення вакуум-плазмових покриттів, дослідженню застосування яких і присвячена ця робота.

Постановка завдання. Шляхом експериментальних досліджень визначити основні технологічні фактори впливу на мікротвердість вакуум-плазмових покриттів TiN, (TiAl)N та (TiC)N на поверхні титанового сплаву.

Виклад основного матеріалу. Нанесення покриття здійснювали методом фізичного осадження з парогазової фази (PVD) з застосуванням вакуумної іонно-плазмової камери NNV-6.6-I1, призначеної для нанесення зміцнюючого одношарового та багатошарового покриття на деталі широкої номенклатури діаметром до 200 мм і довжиною 250 мм конденсацією речовини з іонним бомбардуванням (рис.1).

Технологічний процес нанесення покриття складався з трьох операцій : іонне очищення поверхні зразка, плазмохімічний синтез випареного матеріалу в об'ємі камери NNV-6.6-I1 та на поверхні, а також конденсація покриття на дослідних зразках. При цьому здійснювалось одночасне розпиленням матеріалів з трьох катодів (цілей) в імпульсному режимі, застосовувався додатковий нагрівача а також пристрій для розділення потоку плазми.

Для визначення основних критеріїв впливу технологічного процесу нанесення вакуум-

плазмових покриттів на зразки з Ті-сплаву контролювалася зміна мікротвердості системи "основа-покриття" у порівнянні з початковою.

Дослідження проводилися згідно ГОСТ 9450-76 за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3, кут між проти лежачими гранями алмазної пірамідки становив 136° при навантаженні 100 г. При виборі навантаження виходили з імовірної глибини відбитку. Мінімальна товщина шару покриття повинна перевищувати глибину відбитку.

Для дослідження мікротвердості використовували плоскі зразки з титанового сплаву ВТ20, на які згідно матриці планування експерименту нанесено вакуум-плазмові покриття TiN, (TiAl)N та (TiC)N. При цьому, для встановлення впливу основних технологічних параметрів (тиск реакційного газу та час іонного травлення) застосовували зразки з різними геометричними параметрами та площею, а саме: $3{,}5 \cdot 10^{-4}$ м^2; $4{,}67 \cdot 10^{-3}$ м^2; $2 \cdot 10^{-4}$ м^2 та $1{,}46 \cdot 10^{-3}$ м^2 .

Результати експериментальних досліджень представлено в таблиці 1.

Установлено, що тиск реакційного газу здійснює найбільший вплив на мікротвердість всіх типів покриттів. Залежність мікротвердості покриттів від тиску реакційного газу носить екстремальний характер. Першочергово, із збільшенням тиску реакційного газу при формуванні покриттів мікротвердість зростає, так як надходження великого об'єму реакційного газу сприяє більш повному протіканню плазмохімічних реакцій.

Таблиця 1 - Мікротвердість вакуум-плазмових покриттів

№	Хімічний склад покриття	Мікротвердість титанового сплаву з покриттями μ за площею зразків, МПа			
		$3{,}5 \cdot 10^{-4}$ м^2	$46{,}7 \cdot 10^{-4}$ м^2	$2 \cdot 10^{-4}$ м^2	$14{,}6 \cdot 10^{-4}$ м^2
0	без покриття	4650	4650	4650	4650
1	(TiAl)N	13680	19844	19844	16724
2	TiN	9680	9254	8030	7882
3	(TiC)N	10220	10512	13496	10744
4	TiN	6499	10180	7330	6340
5	(TiAl)N	10860	12512	13824	12480
6	(TiAl)N	18920	20768	18980	14152
7	(TiC)N	12560	12676	10396	12700
8	TiN	7956	13988	7198	6552
9	(TiAl)N	8928	16480	15280	15880
10	TiN	6090	7660	6664	5199
11	(TiC)N	11860	9280	12000	10976
12	TiN	6720	7594	7198	5756
13	(TiC)N	10376	11092	9380	11440
14	(TiAl)N	13824	20152	19408	13004
15	(TiC)N	9280	8752	12140	9680
16	TiN	5160	7396	6190	8326

Максимальне значення мікротвердості відповідає утворенню хімічного з'єднання стехіометричного складу. Подальше збільшення тиску реакційного газу приводить до деякого зниження мікротвердості покриття. Це зумовлено утворенням покриттів, які мають у своєму складі підвищену концентрацію хімічних елементів реакційного газу, що приводить до дефектності структури та зниженню мікротвердості. Таким чином, в результаті дослідження впливу тиску реакційного газу на мікротвердість покриттів виявлено, що для отримання кращих значень мікротвердості поверхневого шару величина тиску для покриття TiN повинна

знаходитися в межах 0,32...0,34 Па, (TiAl)N – 0,35...0,37 Па та (TiC)N – 0,31...0,41 Па.

Висновки

1. Найбільший вплив на мікротвердість даних типів покриттів здійснює тиск реакційного газу.

2. Оптимальне значення тиску реакційного газу для досягнення максимальної мікротвердості поверхневого шару складає: TiN - 0,32...0,34 Па, (TiAl)N – 0,35...0,37 Па та (TiC)N – 0,31...0,41 Па.

3. Подальше підвищення тиску реакційного газу приводить до дефектності структури та зниженню мікротвердості через підвищену концентрацію хімічних елементів реакційного газу.

Список літератури

1. Nazmy M., Staubli M. Alloy modification of γTiAl for improved mechanical properties. Scr. met. Et mater. 1994. Vol. 31, №7. P. 829-833.

2. Повышение ресурса деталей ГТД из титановых сплавов / В.А. Богуслаев, А.И. Долматов, П.Д. Жеманюк и др. - Запорожье: Мотор Сич, 2000. - 110 с.

3. Ляшенко Б.А., Гречанюк Н.И. Оптимизация и ресурс теплозащитных покрытий деталей ГТД // Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкций: Труды междунар. конф. - Киев: ИПП НАН Украины. - 2000. - С. 819 - 824.

4. Рутковський А. В., Буйскіх К.П., Маркович С.І., Магопець С.О., Бевз О.В. // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 17-19 квітня 2024 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 155 с.

5. Мірненко В.І., Рутковський А.В., Петренко А.М. Вплив вакуум-плазмових покриттів на 'ізотермічну та термоциклічну повзучість титанового сплаву ВТ20 // Вісник Черкаського державного технологічного університету. - Черкаси: ЧДТУ. - 2004. - № 1. - С. 41 - 45.

6. Газоабразивна стійкість титанового сплаву ВТ20 з вакуум-плазмовими покриттями / Б.А. Ляшенко, В.І. Мірненко, А.В. Рутковський, А.М. Петренко // Проблемы трибологии. - 2004. - № 2. - С. 142 - 149.

7. Трапезой А.Г., Мирненко В.И., Бондарь А.В. Циклическая прочность титановых сплавов при нормальных и повышенных температурах в условиях высокой частоты нагружения // Вібрації в техніці та технологіях. - 2004. - № 5(37). - С. 85 - 88.Гогаєв К.О., Радченко О.К. Деформування титанових сплавів прокатуванням. Металознавство та обробка металів. 2001. №4. С. 25–29.

8. Gurrappa I. Effect of aluminizing on the oxidation of the titanium alloy, IMI 834. Oxidation of Metals. 2001. 56, №1-2. P. 73-87.