

ЗНОСОСТІЙКІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ АЗОТУ ТА ВУГЛЕЦЮ НА ТИТАНОВОМУ СПЛАВІ ВТ6

Соловар О.М., к.т.н., доц. Бобіна М.М., студ. Романішин Р.

Національний технічний університет України «КПІ», Інженерно – фізичний факультет, кафедра МТО

В роботі вирішується задача підвищення зносостійкості титанового сплаву ВТ6 методом азотування та нітроцементації в закритому реакційному просторі. В якості вихідних компонентів використовували технічно чистий азот і оксалат амонію. Отримані покриття складаються з нітриду титану TiN, карбиду титану TiC та твердого розчину вуглецю і азоту в титані. Випробування на зносостійкість сплаву ВТ6 з нітридним та карбонітридним покриттям показало підвищення трибо технічних характеристик в умовах сухого тертя ковзання. При цьому втрати маси в залежності від умов випробувань зменшуються на 2-3 порядки.

Вступ. Титан та його сплави, що відрізняються поєднанням ряду цінних властивостей, перспективні для застосування в багатьох галузях сучасної техніки. Висока вартість титану і його сплавів в багатьох випадках компенсується їх більшою працездатністю, а в деяких випадках вони є єдиним матеріалом, з якого можна виготовити устаткування або конструкції, здатні працювати в даних конкретних умовах [1,2].

Переважне застосування титан та сплави на його основі знайшли в авіації, ракетобудуванні, машинобудуванні, хімічній та харчовій промисловостях, медицині завдяки своїй високій питомій міцності, корозійній стійкості та біологічній інертності. Проте характерною особливістю титану є схильність до налипання, до поверхневого схоплювання з іншими металами, що обумовлює низьку його зносостійкість і обмежує використання у вузлах тертя механізмів і машин. Без додаткової зміцнюючої обробки використання титанових сплавів у вузлах тертя та місцях прямої контактної взаємодії практично неможливе.

Термічна обробка не забезпечує ефективного поверхневого зміцнення. Вирішення цієї проблеми шляхом нанесення надійних зносостійких покриттів нашоухується на суттєві труднощі через велику хімічну спорідненість титану до кисню. Наявність оксидної плівки з низькою поверхневою енергією на поверхні сплавів знижує адгезію різного роду покриттів і змазок.

Автори роботи [3] пропонують різні технології обробки поверхні для підвищення ефективності трибологічних характеристик титанових сплавів. Серед них – плазмова і лазерна обробки, іонна імплантація, а також методи PVD та CVD. Всі способи обробки поверхні можна розділити на три групи. Мета способів обробки першої групи - зміна в основному мікроструктури поверхневого шару (без зміни її хімічного складу) шляхом впливу високих температур, швидкостей нагрівання й охолодження. В другу групу входять способи створення покриттів на матеріалі-основі. Нарешті до третьої і, можливо, найбільшої групи відносяться різні види хіміко-термічної обробки (ХТО) титанових сплавів: азотування, науглецювання, оксидування, нітрооксидування та ін. Нещодавно стала досить популярною комбінована обробка поверхні, що об'єднує дві або більше з перерахованих вище груп [4].

Постановка завдання. Ефективним методом зміцнення поверхневих шарів титану для роботи в умовах фрикційної взаємодії є термодифузійне насичення, зокрема вуглецем, киснем і азотом (оксидування, азотування та карбонітрація). Відомо, що найбільшу твердість та зносостійкість зі сполук титану має карбід титану TiC. В той же час, він відзначається високою схильністю до схоплювання. Покриття з нітриду титану (TiN) характеризується практично повною інертністю до адгезії і високим опором лункоутворенню.

Зміцнюючий ефект азоту перевищує аналогічний для кисню через різницю в атомних радіусах елементів втілення (**0,073** нм для азоту, **0,063** нм для кисню). Більше того, для нітридів титану характерні значно менші відношення Піллінга-Бедворта (**1,1** для TiN і **1,7** для TiO₂), коефіцієнт термічного розширення, а відтак, і менший рівень залишкових напружень в поверхневому шарі нітридів, що виключає порушення цілісності сформованої плівки. Проте внаслідок того що коефіцієнт дифузії азоту в α - і β -модифікаціях титану менший, ніж кисню [8], для одержання технологічно задовільної глибини дифузійного шару при азотуванні необхідні вищі температури і триваліші витримки, ніж при оксидуванні. Це обумовлює суттєву втрату в характеристиках міцності азотованих деталей через необоротний ріст величини зерна титанової матриці. В зв'язку з цим, пріоритетним у металознавстві титану є пошук шляхів інтенсифікації процесу азотування для одержання при оптимальних температурно-часових параметрах обробки якісних зміцнених шарів при збереженні в'язкої основи матеріалу. Вирішення цієї проблеми дозволить без застережень рекомендувати азотування та нітроцементацию як ефективний і економічний спосіб хіміко-термічної обробки виробів з титанових сплавів для зміцнення їх поверхні з метою підвищення зносостійкості.

Тому актуальним є розвиток нових способів обробки поверхні, що дозволяють отримувати карбонітридні сполуки у вигляді суцільних покриттів з хорошою адгезією до поверхні металу.

Саме тому в роботі вирішується задача щодо можливості підвищення зносостійкості титанового сплаву за рахунок отримання покриттів на основі карбіду та нітриду титану за простою з технологічної точки зору, екологічно безпечною технологією, з властивостями, що не поступаються вже використовуваним покриттям такого ж складу.

Результати досліджень та їх обговорення. Як об'єкт досліджень було обрано титановий сплав ВТ6. Азотування проводили в технічно чистому азоті, за умови зниженого тиску, при температурі 950⁰С впродовж 2 годин. На поверхні зразка зі сплаву ВТ6 утворився шар нітриду титану товщиною 2,5-3,0 мкм, мікротвердістю (15,5-16,0) ГПа. Під ним розташований твердий розчин азоту в α -титані.

Нітроцементацию при 900⁰С проводили впродовж 2 годин. Після насичення на поверхні отримали двошарове покриття: внутрішній шар на основі карбіду TiC товщиною 2,5-3,0 мкм мікротвердістю (24-25) ГПа та зовнішній, на основі TiN, товщиною 2,0 мкм мікротвердістю (15-17) ГПа.

Зносостійкість в умовах тертя ковзання без змащування визначали на машині тертя 2070CMT-1 за схемою диск-колодка. У якості контртіла використовували диск зі сталі У8, обробленої на твердість 62 HRC, радіусом 25 мм та товщиною 10 мм. Проведенні випробування показали суттєву зміну триботехнічних характеристик зразків після азотування та карбонітрації в умовах тертя-ковзання, а саме зміну маси зразків та зміну коефіцієнтів тертя зі сплаву ВТ6 в залежності від навантаження, швидкості обертання валу та часу (табл. 1).

При всіх режимах випробувань в зразки з нанесеними на поверхню покриттями показали зносостійкість на 2-3 порядки вищу ніж вихідні зразки без покриттів. При цьому, показники були тим кращі, чим більш жорсткіші використовувалися умови випробувань.

З отриманих даних (табл. 1) видно, при малому навантаженні 10 Н впродовж 1 хвилини зношування зразків з нанесеними покриттями не спостерігалось. Майже при всіх використаних режимах втрати маси як азотованих так і карбонітрованих зразків була мінімальна. Деяка менша стійкість проти зношування впродовж першої хвилини азотованого зразка може бути пояснена більш низькою його мікротвердістю. В карбонітрованому покритті нітрид титану TiN додатково розчиняє в собі вуглець. За рахунок цього його мікротвердість на 2 -2,5 ГПа вища.

Вихідні зразки зменшили втрату маси за перші 3 хвилини. Це може бути результатом швидкого розігрівання та окислення поверхні тертя. Утворений оксид титану TiO_2 , як відомо [5], може слугувати природним мастилом при терті.

Таблиця 1

Втрата маси зразків в залежності від умов випробування

Час випробування, хв	Навантаження, Н	Швидкість, м/хв	Втрата маси, г/мм ²		
			Вид обробки		
			Вихідний	Азотування	Нітроцементация
1	10	2,5	0,0003	0	0
		5	0,0009	0	0
		7,5	0,01	0	0
	20	2,5	0,009	0,0002	0,0001
		5	0,019	0,0009	0,0007
		7,5	0,092	0,0012	0,0005
	30	2,5	0,0082	0,0092	0,0055
		5	0,098	0,0126	0,0103
		7,5	0,1414	0,0299	0,0121
3	10	2,5	0,0009	0	0
		5	0,009	0,0012	0,0008
		7,5	0,02	0,008	0,005
	20	2,5	0,009	0,0009	0,0004
		5	0,005	0,003	0,0005
		7,5	0,03	0,0098	0,0006
	30	2,5	0,0303	0,0231	0,001
		5	0,042	0,012	0,006
		7,5	0,098	0,013	0,011
5	10	2,5	0,001	0,0001	0,0001
		5	0,0015	0,0002	0,0001
		7,5	0,001	0,0004	0,0002
	20	2,5	0,0173	0,0013	0,0007
		5	0,007	0,0017	0,0012
		7,5	0,0155	0,0038	0,0011
	30	2,5	0,051	0,0008	0,0002
		5	0,04	0,0023	0,0008
		7,5	0,16	0,002	0,0007

Різде зношування вихідних зразків при найбільш жорстких режимах випробувань можна пояснити захоплюванням титанового сплаву з поверхнею контртіла.

Збільшення навантаження та швидкості обертання контртіла значно погіршує стійкість вихідного сплаву ВТ6.

При збільшенні швидкості обертання контртіла втрати маси зразків з обома видами покриттів зростають в 4-8 разів, а при збільшенні навантаження – на порядок (табл. 1). Але при цьому у вибраних умовах випробувань їх зносостійкість значно перевищує вихідних зразків з ВТ6.

При всіх режимах випробувань коефіцієнт тертя для пари покриття-контртіло був менший, ніж для вихідного сплаву (табл. 2).

Коефіцієнти тертя пари покриття-контртіло

Час випробування, хв	Навантаження, Н	Швидкість, м/хв	Коефіцієнт тертя		
			Вид обробки		
			Вихідний	Азотування	Нітроцементация
1	30	2,5	0,44303	0,43274	0,43053
		7,5	0,44375	0,43819	0,42916
3	30	2,5	0,44315	0,43573	0,40262
		7,5	0,44247	0,43573	0,42822
5	20	2,5	0,45381	0,42393	0,38654
		5	0,44096	0,42393	0,40166
		7,5	0,45831	0,41820	0,37028
	30	2,5	0,45831	0,44372	0,42874
		5	0,45831	0,44474	0,43877
		7,5	0,45831	0,44475	0,36500

При максимальній жорстких умовах, що були використані при випробуваннях ($v=7.5$ м/хв, $P=30$ Н, $\tau=5$ хвилин) коефіцієнт тертя найменший для обох видів покриття, в порівнянні з попереднім значенням, і найнижчий для карбонітридного – на 3-9% нижчий за коефіцієнт тертя для азотованого зразка і на (15-17)% - для вихідного. Це пояснюється тим, що в процесі тертя при такій швидкості нітрид титану, який розташований на поверхні інтенсивно розігрівається і окислюється. Оксид титану TiO_2 при підвищених температурах стає достатньо пластичним щоб виступити в ролі сухого мастила та полегшити ковзання контактуючих поверхонь. Більше за товщиною двошарове покриття, отримане після карбонітрації, можливо зменшує шорсткість поверхні, і тим самим, полегшує ковзання контактуючих поверхонь, знижує коефіцієнт тертя.

Висновок. Таким чином, отриманні після карбонітрації та азотування покриття підвищують зносостійкість титанового сплаву ВТ6 в умовах сухого тертя ковзання. При цьому втрати маси в залежності від умов випробувань зменшуються на 2-3 порядки, а коефіцієнт тертя в порівнянні з вихідними зразками знижується на (10-12)% після азотування та на (15-17)% після карбонітрації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абковиц С. Термическая обработка титана: [Електронний ресурс] / С. Абковиц, Дж. Бурке, Р. Хильц // Титан в промышленности. - М.: ОБОРОНГИЗ, 1957 г. – Режим доступу: <http://www.domremstroy.ru/metall/titan16.html>
2. Влияние методов отделочно – упрочняющей обработки лопаток из титановых сплавов на состояния их поверхностного слоя / А. В. Богуслаев, Г. В. Пухальская, А. Д. Коваль [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2008.- №3. - С. 24 – 30.
3. Физико-химические свойства оксинитридов и карбонитридов титана / Г. Л. Богомолов, Г. Я. Швейкин, С. И. Алялювский [и др.] // Неорганические материалы. - 1971. - Т.7, № 1. - С. 67 - 72.
4. Федирко В. Н. Азотирование титана и его сплавов / В. Н. Федирко, И. И. Погребок - К.: Наукова думка, 1995. - 220 с.
5. Земсков Г. В. Многокомпонентное диффузионное насыщение металлов и сплавов / Г. В. Земсков, Р. Л. Коган. - М.: Металлургия, 1978. - 207 с.