

УДК 621.785

В. Г. ХИЖНЯК, М. М. БОБІНА, О. М. СОЛОВАР

Національний технічний університет України «КПІ», Україна

ЗНОСОСТІЙКІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ АЗОТУ НА СПЛАВІ ВТ9

Досліджено особливості формування нітридних покриттів на титановому сплаві ВТ9 після азотування з попередньою активацією поверхні воднем, та триботехнічні властивості цих покриттів в умовах тертя без мастила.

Ключові слова: покриття титанових сплав, нітрид титана, водень, зносостійкість.

Вступ. Серед перспективних конструкційних матеріалів, освоєних промисловістю в минулі роки, особливе місце займає титан і його сплави. Титан та його сплави, що відрізняються поєднанням ряду цінних властивостей, перспективні для застосування в багатьох галузях сучасної техніки. Мала питома вага і висока міцність титану і його сплавів роблять їх дуже цінними авіаційними матеріалами. В області літакобудування та виробництва авіаційних двигунів титан все більше витісняє алюміній і нержавіючу сталь. Корозійна стійкість титану і його сплавів робить їх дуже цінним матеріалом на морі.

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].

Безперервне розширення області застосування цих матеріалів в різних галузях техніки пояснюється сприятливим поєднанням їх фізико-хімічних властивостей. Проте титанові сплави мають і недоліки, найбільш значні серед яких – висока ціна, низькі твердість поверхні і зносостійкість. Два останні фактори обмежують застосування титанових сплавів для роботи в умовах тертя і контактних навантажень. Тому для підвищення цих характеристик застосовують різноманітні технології обробки їх поверхні. Титанові сплави є унікальними матеріалами, що характеризуються чудовим поєднанням властивостей. Однак у багатьох випадках їх застосування обмежується через низьку твердість поверхні. 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 мікроструктурі 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, навуглецювання, оксидування, нітрооксидування та ін. Одним з найбільш широко застосовуваних методів є азотування.

Постановка завдання. Азотування з газового середовища є найбільш перспективним в порівнянні з іншими методами завдяки простоті здійснення з точки зору використовуваного устаткування і багатоваріантності геометрії і розмірів оброблюваних деталей. Сформований в результаті азотування шар складається з двох зон: дифузійної, яка представляє собою пересичених азотом і легуючими елементами α – твердий розчин титану, та зони хімічних сполук, що складається

в основному з нітридів титану TiN і Ti₂N. Товщина шару твердого розчину зростає із збільшенням тривалості процесу і підвищенням температури обробки. Азотування титану при 850–900 °C протікає дуже повільно і за 24 год. утворюється шар завтовшки в 30–35 мкм. При температурах 1000 °C і вище за той же час глибина азотування перевищує 1 мм. Проте при дуже високих температурах азотування та великих витримках спостерігається ріст зерна β-фази, що приводить до різкого погіршення механічних властивостей титана і його сплавів. Тому актуальним є розвиток нових способів азотування, що дозволяють отримувати нітридні 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 азотування, с попередньою активацією поверхні воднем.

Методика та техніка досліджень. Як об'єкт досліджень було обрано титановий сплав ВТ9.

Азотування проводили в закритому реакційному просторі за умови зниженого тиску. Процес проводили при температурі 950 °C впродовж 2 год. в атмосфері технічно чистого азоту. В якості вихідних речовин, які використовувались для утворення активної газової фази в реакційному просторі, застосовували газоподібний азот технічної чистоти 1-го сорту (ГОСТ 9293–74), гідрид титану TiH₂ марки ТУ 14-1-2159. Кількість гідриду титану в реакційній камері змінювали з 10 г/м² до 30 г/м² насичуваної поверхні.

Фазовий склад покриттів визначали на рентгенівському дифрактометрі ДРОН 3-М. Вимірювання мікротвердості та уточнення товщини дифузійного шару, а також його окремих фаз проводили на пристроях ПМТ–3 і ПМТ–8 не менш, ніж в 20...25 полях зору. Для визначення хімічного складу покриттів у даній роботі був застосований мікрорентгеноспектральний аналіз, який проводили, використовуючи електронний растровий мікроскоп CamScan 4D (з мікроаналізатором – приставка EDX до мікроскопу CamScan 4D) фірми Oxford Instruments.

Зносостійкість в умовах тертя ковзання без змащування визначали на машині тертя 2070СМТ-1 за схемою диск-колодка [4]. У якості контртіла використовували диск зі сталі У8, обробленої на твердість 62 HRC, радіусом 25 мм та товщиною 10 мм.

Результати досліджень та їх обговорення. Мікоструктурний та мікрорентгеноспектральний аналізи показали, що при мінімальній кількості гідриду титан в реакційному просторі на поверхні титану утворювався шар твердого розчину азоту в α-титані. Вміст азоту на поверхні дорівнює 6,52 мас.% і спадає до нуля на відстані біля 20 мкм. Мікротвердість на поверхні складає 6,5 ГПа (рис. 1).

Втілення азоту в октаедричні пори гексагональної щільно упакованої ґратки α-Ti викликає зміну її параметрів від $a = 0,2946$ нм, $c = 0,4711$ нм на поверхні до $a = 0,2928$ нм, $c = 0,4698$ нм на глибині 20 мкм.

Збільшення кількості гідриду титану в реакційній суміші до 30 г/м² супроводжувалося зміною фазового складу азотованої зони. На поверхні утворюється шар нітриду титану TiN ($a = 0,42341$ нм) товщиною (2–2,5) мкм та мікротвердістю (10 – 10,5) ГПа. Вміст титану по товщині шару майже не змінюється і складає (40–44,5) ат.%, що відповідає фазі TiN_{0.88}. Під шаром нітриду розташована тонка зона твердого розчину азоту в α-Ti ($a = 0,29446$ нм, $c = 0,47101$ нм) – товщиною біля (10–12) мкм (рис. 2).

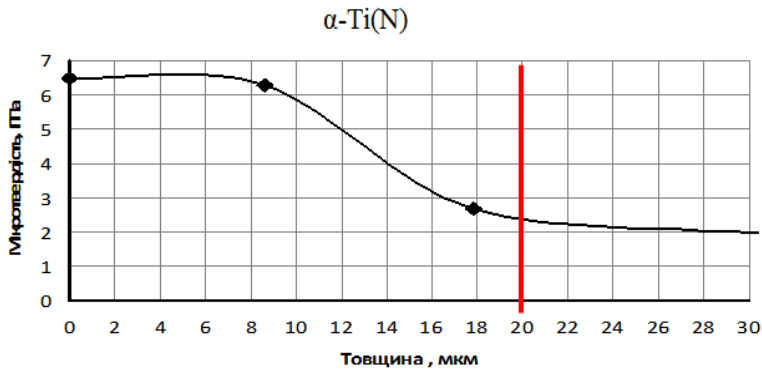


Рис. 1. Розподіл мікротвердості в дифузійному покритті на поверхні VT9, отриманому при азотуванні при $T = 950^\circ\text{C}$ впродовж 2 год. при введенні в насичуючу суміш 10 г/м^2 гідриду титану

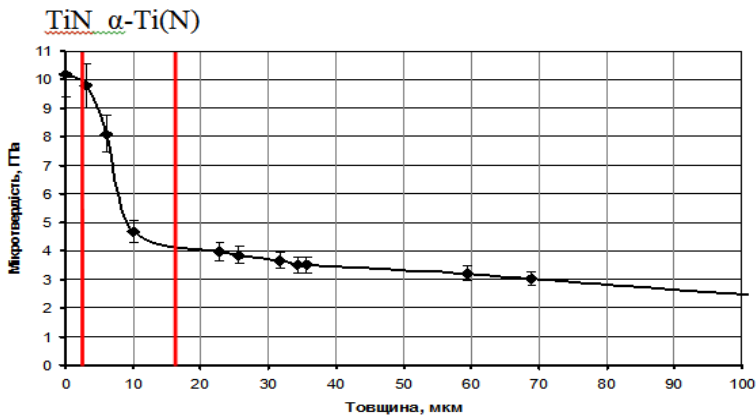


Рис. 2. Розподіл мікротвердості в дифузійному покритті на поверхні VT9, отриманому при азотуванні при $T = 950^\circ\text{C}$ впродовж 2 год. при введенні в насичуючу суміш 30 г/м^2 гідриду титану

Збільшення часу насичення до 4 год. не призвело росту зони твердого розчину, а товщина нітридного шару незначно виросла – до (2,5–3,0) мкм. При цьому якість нітридного шару погіршилася – спостерігалися тріщини та сколи.

Тому, в якості оптимальної кількості TiH_2 , введеного до реакційної камери, було вибрано 16 г/м^2 .

Після азотування на поверхні зразка зі сплаву VT9 утворився шар нітриду титану TiN ($a = 0,42342\text{ нм}$) товщиною 2,5–3,0 мкм, мікротвердістю (15,5–16,0) ГПа (рис. 3, 4). Під ним розташований твердий розчин азоту в α -титані ($a = 0,29284\text{ нм}$, $c = 0,46978$).

Рентгеноспектральний аналіз) показав, що при насиченні сплаву VT9 азотом проходить перерозподіл легуючих елементів як між азотованим шаром і матрицею, так і в самому азотованому шарі. При розчиненні азоту в α -титані внаслідок збільшення електронної концентрації сплаву [3] зростає енергія кристалічної ґратки α -твердого розчину азоту в титані. Стійкий стабільний стан з мінімальною енергією досягається шляхом розпаду твердого розчину з виділенням певної кількості легуючих елементів. Інтенсивність процесу виділення легуючих елементів з твердого розчину залежить від елементу, його вмісту в сплаві, розчинності в α -титані.

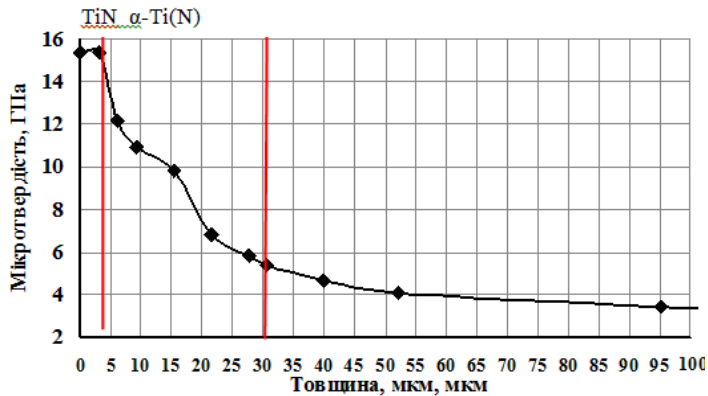


Рис. 3. Розподіл мікротвердості в дифузійному покритті на поверхні VT9, отриманому при азотуванні при $T = 950^\circ\text{C}$ впродовж 2 год. при введенні в насичуючу суміш 16 г/м^2 гідриду титану

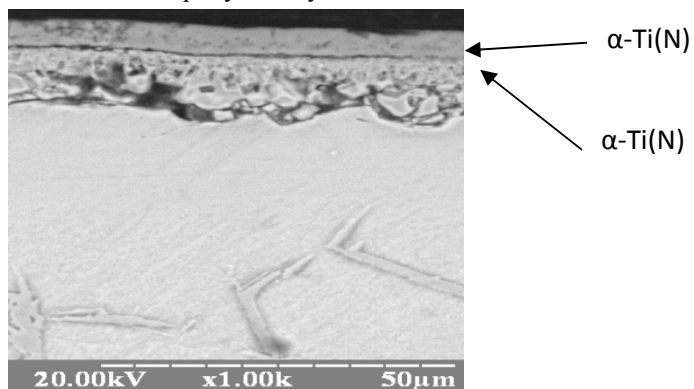


Рис. 4. Дифузійний шар отриманий після азотуванні титанового сплаву VT9 при $T = 950^\circ\text{C}$ впродовж 2 год. при введенні в насичуючу суміш 16 г/м^2 гідриду титану

Рентгеноспектральний аналіз показав, що при насиченні сплаву VT9 азотом проходить перерозподіл легуючих елементів як між азотованим шаром і матрицею, так і в самому азотованому шарі. При розчиненні азоту в α -титані внаслідок збільшення електронної концентрації сплаву [3] зростає енергія кристалічної ґратки α -твердого розчину азоту в титані. Стійкий стабільний стан з мінімальною енергією досягається шляхом розпаду твердого розчину з виділенням певної кількості легуючих елементів. Інтенсивність процесу виділення легуючих елементів з твердого розчину залежить від елементу, його вмісту в сплаві, розчинності в α -титані.

Дослідження зносостійкості проводили на установці 2070СМТ-1. При випробуванні пари «диск – колодка» – диск обертається, а колодка залишається нерухомою. Матеріал контртіла – загартована і відпущена сталь У8А у вигляді диска ($R = 25\text{ мм}$, $h = 10\text{ мм}$), поверхнева твердість становила 62 HRC. Швидкість ковзання 2 і 3 м/с, навантаження – 2 кг. Час випробування кожного зразка – 3 хв. Результати випробувань показані в табл.

З наведених даних випливає, що після азотування, спостерігається підвищення зносостійкості поверхні зразків. Різниця зміни маси оброблених і необроблених зразків пояснюється тим, що на необробленій поверхні розвиваються процеси схоплювання, а на обробленій – механічного зносу. Процеси схоплювання характеризуються інтенсивним утворенням на контактуючих поверхнях надривів і віривів, які чергуються між собою (рис. 5) .

Таблиця

Результати випробування на зносостійкість зразків сплавів Ті

	Фазових склад (зона сполук)	Товщина шару, мкм	Мікротвердість, ГПа	Показники зносостійкості	
				Втрата маси, кг/м ² при $V = 2$ м/с	Втрата маси, кг/м ² при $V = 3$ м/с
BT9 вихідний	$\alpha+\beta$	-	2,2	0.012	0,042
BT9 азотований без активації TiH ₂	TiN	1,5-2	12	0,007	0,006
BT9 азотований з активацією (16 г/м ² TiH ₂)	TiN	2,5-3,0	15,5-16,0	0.005	0.0025



Рис. 5. Поверхня тертя контртіла після випробування неазотованого титанового сплаву BT9 при $V = 2$ м/с $\times 100$

Також спостерігається налипання титанового сплаву на поверхню контртіла, розмазування його в напрямку руху, що свідчить про інтенсивному розвитку пластичної деформації в поверхневих шарах досліджуваних сплавів під дією механічних сил, що виникають в процесі тертя. Поверхнева деформація та руйнування супроводжується утворенням ювенільних поверхонь тертя, їх зближенню, і обумовлює інтенсивність і характер руйнування поверхні. [2; 3].

Висновок. Проведені дослідження на зносостійкість отриманих азотованих зразків з BT9 показали, що в умовах тертя без мастила спостерігається підвищення триботехнічних характеристик титанового сплаву. При швидкості ковзання - 2 м/с, для зразків, азотованих без активації процесу насичення, триботехнічні характеристики підвищилися в 1,7 рази. Для азотованих з активацією – в 2,4 рази. У разі збільшення швидкості ковзання до 3 м/с: азотованого без активації - підвищення в 7 разів; азотованого з активацією – у 16,8 разів. Отримані результати дозволяють рекомендувати використання процесу азотування титанових сплавів з активацією процесу воднем для підвищення їх зносостійкості в умовах тертя без мастила.

Список літератури

1. Богуслаев А. В., Пухальская Г. В., Коваль А. Д. [и др.] Влияние методов отделочно – упрочняющей обработки лопаток из титановых сплавов на состояния их поверхностного слоя // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2008.- №3. - С. 24 – 30.

2. Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов в активизированных газовых средах / Арзамасов Б.Н – М.:Машиностроение, 1979. 322 с.
3. Федирко В. Н. Азотирование титана и его сплавов / В. Н. Федирко, И. И. Погремок - К.: Наукова думка, 1995. –С. 220.
4. Трофимов В. А. Титановые сплавы в самолетах АНТК им. О. К. Антонова / В. А. Трофимов, С. Л. Антонюк, О. М. Ивасьшин, А. Г. Моляр // Тi – 2005 в СНГ. Сб. тр. – 2005. – С. 298 – 305.

Стаття надійшла до редакції 20.05.2013

V. G. HYGNYAK, M. M. BOBINA, O. M. SOLOVAR

WEAR RESISTANT COATINGS BASED ON VT9 ALLOY

The peculiarities of formation of nitride coatings on titanium alloy VT9. The possibility of activation nitriding process by entering into a closed reaction space hydrogen to activate the surface of the samples. The influence of hydrogen on the thickness and hardness of the coating. Studies on the wear resistance of the nitrided samples obtained from VT9 shown that the influence of friction without lubrication, an increase tribotechnical characteristics of titanium alloy.

Keywords: titanium alloy coating, titanium nitride, wear resistance

Хижняк Віктор Гаврилович – д.т.н, проф., професор кафедри металознавства та термічної обробки НТУУ «КПІ»

Бобіна Марина Миколаївна – к.т.н, доцент кафедри металознавства та термічної обробки НТУУ «КПІ»

Соловар Олексій Миколайович – аспірант кафедри металознавства та термічної обробки НТУУ «КПІ», lex84@ukr.net