

**Погрелюк І.М.,
Лаврись С.М.**

Фізико - механічний інститут
ім. Г.В. Карпенка НАН України,
м. Львів, Україна
E-mail: pohrelyuk@ipm.lviv.ua

ВПЛИВ АЗОТУВАННЯ ПІД ЧАС КОМБІНОВАНОЇ ОБРОБКИ НА ЗНОСОТРИВКІСТЬ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ VT22

УДК 669.295:621.785

Досліджено зносотривкість титанового сплаву VT22 після комбінованої обробки. Комбінована обробка включала попередню холодну поверхневу пластичну деформацію (ХППД) та наступне термодифузійне азотування (ТДА), суміщене зі штатною термічною обробкою сплаву. Встановлено, що насичення азотом за температури 750 °С впродовж 3 год на другому ступені штатної термічної обробки сплаву призводить до зменшення твердості та підвищення якості поверхневого зміцненого шару, що забезпечує вищі триботехнічні характеристики в парі з бронзою БрАЖН 10-4-4 порівняно з насиченням за 820 °С, 1 год + 750 °С, 3 год на першому та другому ступенях штатної термічної обробки.

Ключові слова: титановий сплав VT22, поверхнева пластична деформація, азотування, поверхнєве зміцнення, зношування, коефіцієнт тертя.

Вступ

Титан та його сплави з кожним роком розширюють область свого застосування як у машинобудуванні, так і в авіаційній промисловості, що пояснюється відмінним поєднанням його властивостей, таких як: висока питома міцність, корозійна тривкість та низький поріг холодноламкості. Титанові сплави мають і ряд недоліків: висока вартість, низька поверхнева твердість і зносотривкість. Останні два фактори обмежують застосування титанових сплавів для роботи в умовах контактних навантажень і тертя. Антифрикційні властивості титанових сплавів можна підвищити за рахунок поверхневого зміцнення деталей шляхом удосконалення відомих та розроблення нових зміцнюючих технологій [1 - 4]. У цьому аспекті великого значення набуває розробка комбінованих методів, які б, зберігаючи переваги відомих методів зміцнюючої обробки, одночасно усували їх недоліки. Одна із перспективних технологій комбінованої зміцнюючої обробки є поєднання попереднього холодного поверхневого пластичного деформування (ХППД) з наступним термодифузійним насиченням поверхні азотом (ТДА) [5, 6]. Проте за високих температур азотування (> 950 °С) та тривалих (> 30 год) витримок спостерігається ріст зерна β -фази, що призводить до погіршення механічних властивостей титанового сплаву.

Мета і постановка задачі

Мета даної роботи - розробити режим азотування під час комбінованої обробки, яка окрім термодифузійного насичення азотом включає попередню холодну пластичну деформацію, для забезпечення високих триботехнічних характеристик поверхні двофазного титанового сплаву VT22.

Результати та їх обговорення

Оскільки титанові сплави мають підвищену схильність до схоплювання з більшістю інструментальних матеріалів під час ХППД, то був вибраний метод обкочування алмазною кулькою, через більш низький ступінь тертя ковзання і, як наслідок, меншу ймовірність утворення дефектів. Режими деформаційного зміцнення наступні: навантаження 200 Н у 7 проходів зі швидкістю 200 об/хв, діаметр кулі 5 мм² [7].

Позитивний вплив попереднього ХППД підтверджується якістю поверхні титанового сплаву VT22. Квалітет чистоти поверхні після обкочування збільшується в порівнянні з вихідним на 7 класів. При цьому рівень поверхневого зміцнення підвищується і встановлюється на рівні 4,8 ГПа (табл. 1). Очевидно, що під час обкочування відбувається пластична деформація поверхневих шарів, яка збільшує густину дислокацій, за рахунок чого твердість поверхневого шару зростає.

Таблиця 1

**Параметр шорсткості та мікротвердість поверхні сплаву VT22
після комбінованої обробки**

Режим ТДА	R _a , мкм			H _{0,49} , ГПа		
	вихідна	ХППД	ХППД + ТДА	вихідна	ХППД	ХППД + ТДА
Режим 1	4,00	0,19	0,39	3,2	4,8	7,1
Режим 2		0,19	0,25		4,8	6,1

Для збереження об'ємного зміцнення, яке задає термічна обробка, і формування поверхневого зміцнення термодифузійним насиченням поверхневих шарів азотом, попередньо обкочений сплав BT22 обробляли за режимами I і II (рис. 1), суміщаючи термічну і хіміко-термічну обробки в одному технологічному циклі [8 - 10]. Режим I передбачав насичення азотом на першому і другому ступені термічної обробки (рис. 1, а), режим II – лише на другому ступені (рис. 1, б). Азотували на установці, яка дозволяє відтворювати технологічний регламент термічної обробки сплаву та забезпечувати температурно-часовий та газодинамічний режими азотування в одному технологічному циклі. Використовували газоподібний азот технічної чистоти (ГОСТ 9293-74), який перед подачею в реакційний простір печі висушували та звільняли від кисню, пропускаючи через капсулу з силікагелем і нагріту на $\sim 50^\circ\text{C}$ вище температури насичення титанову стружку.

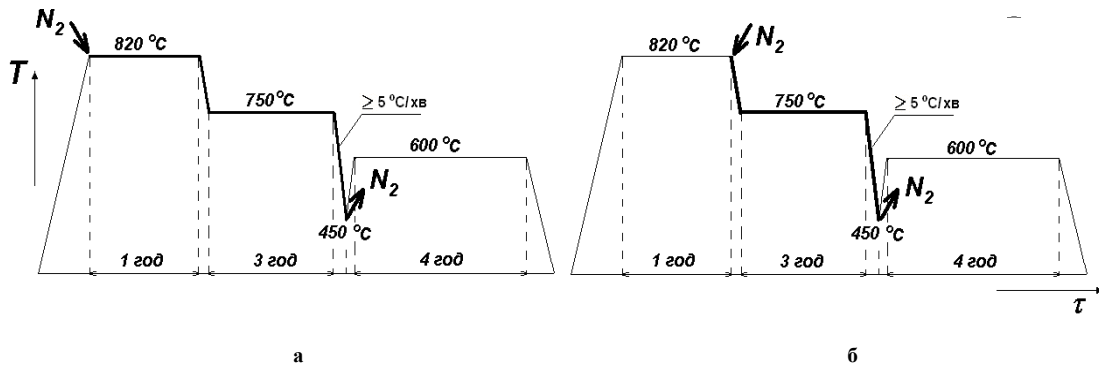


Рис. 1 – Схема термодифузійного насичення азотом титанового сплаву BT22: а – режим I; б – режим II

Після наступної ХТО, яка поєднує штатну термічну обробку і азотування (рис. 1, режими I і II), поверхня зразків сплаву BT22 гладка, блискуча, світло-золотиста. Насичення азотом на першому та другому ступені термічної обробки (режим I) чи лише на другому ступені (режим II) не впливає на фазовий склад поверхневих шарів сплаву. Незалежно від режиму азотування на поверхні BT22 формується плівка нижчого нітриду титану Ti_2N , про що свідчать результати рентгенівського фазового аналізу, фіксуючи

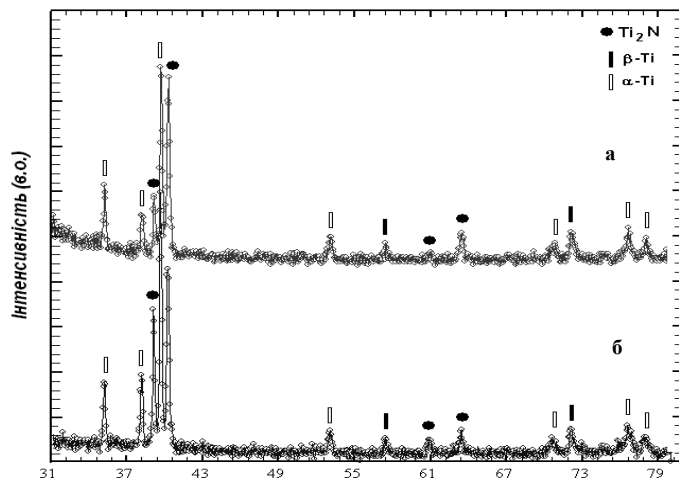


Рис. 2 – Дифрактограми, зняті з поверхні зразків титанового сплаву BT 22 після азотування за режимом I (а) та режимом II (б)

присутність рефлексів цієї фази у дифракційному спектрі (рис. 2). Зменшення інтенсивності ліній нітридної фази у поверхневому дифракційному спектрі свідчить про гальмування нітридоутворення на поверхні під час переходу від режиму I до режиму II.

Про поверхнєве зміцнення сплаву після азотування свідчить підвищення поверхневої мікротвердості зразків (табл. 1). Встановлено, що під час переходу від режиму I до режиму II (перехід за термодифузійного насиченні азотом від вищої температури (середня на першому і другому ступені 785°C) та тривалішої витримки (4 год) до нижчої температури (750°C) та коротшої витримки (3 год) поверхнева твердість сплаву зменшується від 5,6 до 4,9 ГПа. Проте якість поверхні зразків після азотування погіршується на клас в порівнянні з якістю поверхні після обкочування і відповідає дев'ятому квалітету чистоти поверхні згідно ГОСТу 2789-73.

Таким чином, суміщене з термічною обробкою сплаву BT 22 азотування за режимом I забезпечує вищий рівень приповерхневого зміцнення, ніж азотування за режимом II. Активніше нітридоутворення на поверхні за реалізації режиму I негативніше впливає на якість поверхні порівняно з режимом II.

Зносотривкість азотованого сплаву оцінювали за зміною маси під час тертя відповідно до ГОСТ 23.224-86. Випробовували на машині для зношування металів СМЦ-2 за схемою спряження “диск – колодка” на базі 1000 м за питомого навантаження 0,6 МПа і швидкості ковзання 0,6 м/с. Як контртіло використовували колодки з деформівної бронзи БрАЖН 10-4-4. Змащували шляхом занурення тіла пари тертя в контейнер з гідрорідиною АМГ-10.

Після проведених триботехнічних випробувань досліджувані диски практично не змінили своєї маси після тертя ($\pm 0,0002$ г), що свідчить про хороші антифрикційні властивості їх поверхні. При цьому контртіло, котре працювало в парі з титановим диском, зміцненим за режимом I, має більшу величину зносу порівняно з контртілом, яке працювало з диском, зміцненим за режимом II (0,0127 г проти 0,0035 г відповідно).

Таким чином, зменшення температурно - часових параметрів азотування титанового диску (перехід від режиму I до режиму II) призводить до зменшення інтенсивності зношування контртіла у трибопарі в $\sim 3,5$ рази. Це обумовлено тим, що під час азотування на поверхні титанових сплавів формується характерний поверхневий рельєф, який супроводжується збільшенням як висотних, так і крокових параметрів шорсткості поверхні. За фрикційної взаємодії трибопари плямами фактичного контактування виступають мікроступи нітридів, які схоже до абразиву проорюють більш м'яку поверхню контртіла, залишаючи борозни, що підтверджує мікроструктура поверхонь тертя бронзових колодок (рис. 3). В обох досліджуваних трибопарах під час тертя переважає абразивний механізм зношування з формуванням характерного для нього борознистого рельєфу поверхонь тертя. При цьому поверхня контртіла, котра працювала з диском, азотованим за режимом II, має меншу кількість борозен, ніж та, котра працювала з диском, азотованим за режимом I, де і самі борозни глибші, і їхня глибина більша, і на клас нижчий квалітет чистоти поверхні тертя (рис. 3).

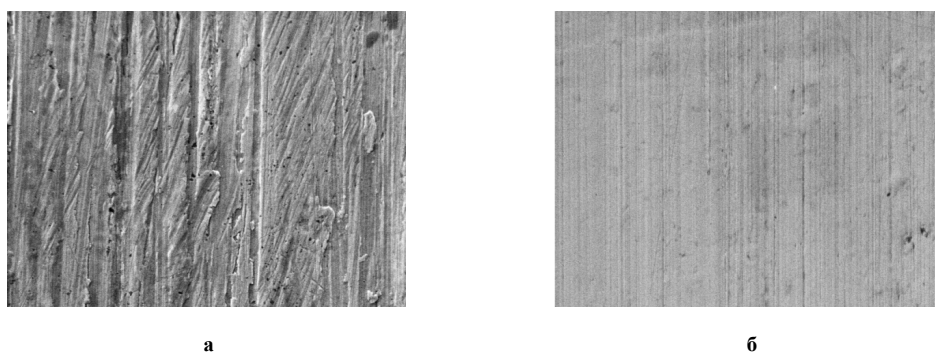


Рис. 3 – Мікроструктура поверхонь тертя контртіл, котрі працювали у парі з сплавом BT22 після азотування за режимами I (а) та режимом II (б)

Якість поверхні зміцнених титанових дисків та контртіл після фрикційної взаємодії покращується порівняно з вихідним. Проте квалітет чистоти дисків вищий, ніж квалітет поверхонь тертя відповідних бронзових колодок. Слід зазначити, що якість поверхні бронзової колодки після тертя котра працювала з диском, попередньо зміцненим за режимом I, має на клас вищий параметр шорсткості R_a , ніж контртіло, котре працювало з диском, зміцненим за режимом II. Це пояснюється тим, що зі збільшенням температурно-часових параметрів азотування посилюється поверхневий рельєф та збільшується твердість нітридного шару, а отже, збільшується і кількість плям фактичного контактування, і зростає їх абразивний ефект у даних трибопарах (рис. 4).

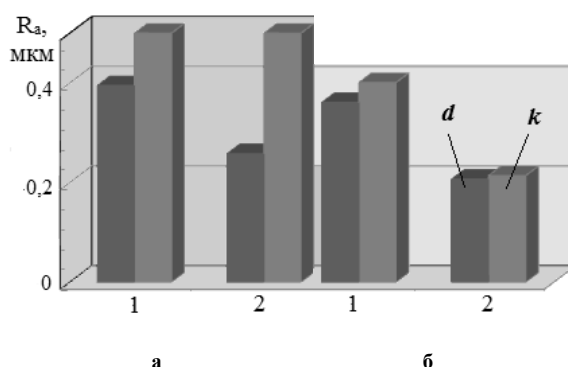


Рис. 4 – Зміна параметра шорсткості R_a трибоспряжень до (а) та після (б) тертя: I і II – режими ХТО; d і k – диск і колодка, відповідно

В процесі триботехнічних випробувань фіксували кінетику зміни коефіцієнта тертя та температури в околі зони тертя. Найнижчим коефіцієнтом тертя характеризується трибопара, диск якої азотували за режимом II. При збільшенні температурно-часових параметрів азотування (режим I) коефіцієнт тертя у трибопарі зростає на порядок (рис. 5).

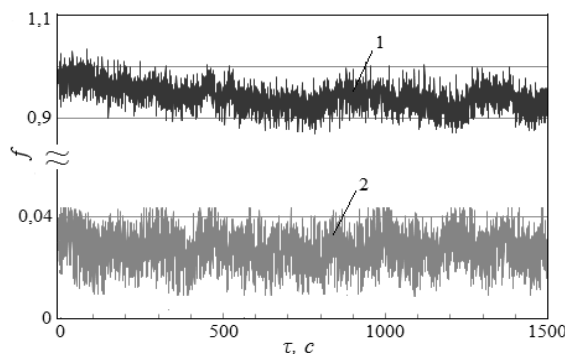


Рис. 5 – Кінетика зміни коефіцієнта тертя трибопари титановий сплав VT 22 - бронза БрАЖН 10-4-4: 1 – азотування за режимом I; 2 – за режимом II

Максимальне підвищення температури в околі зони тертя відбувається в період припрацювання трибоспряжень та не перевищує 35 °С. На ділянці стабільного зношування ця температура встановлюється на рівні 29 °С та 21 °С відповідно до комбінованої обробки, де азотування деформаційно зміцнених поверхонь сплаву VT22 проводили за режимом I та режимом II.

Висновки

Азотування деформаційно зміцненого титанового сплаву VT22, суміщене зі штатною термічною обробкою, забезпечує підвищення твердості поверхневого шару матеріалу та погіршення якості обробленої поверхні.

Під час тертя за питомого навантаження 0,6 МПа у парі з БрАЖН 10-4-4 у гідрорідині АМГ-10, насичення азотом на другому ступені штатної термічної обробки сплаву VT22 (режим II) в 3,5 рази зменшує інтенсивність зношування порівняно з насиченням азотом на першому ступені (режим I), забезпечуючи на етапі стабільного зношування нижчі коефіцієнти тертя (0,03 проти 0,94) та температуру в зоні тертя (21 °С проти 29 °С).

Література

1. Духота О.І. Проблемні питання використання титанових сплавів у вузлах тертя авіаційної техніки / О.І. Духота, М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2008. – Вип.49. – С. 14-26.
2. Механіка руйнування і міцності матеріалів: Довідн. Посібник / Під заг. ред. В.В. Панасюка. Т. 9: Міцність і довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій / О.П. Остащ, В.М. Федірко, В.М. Учанин, С.А. Бичков, О.Г. Моляр, О.І. Семенець, В.С. Кравець, В.Я. Дереча. Під. ред. О.П. Остаща, В.М. Федірка. – Львів: Вид-во “Сполом”, 2007. – 1068 с.
3. Горьнин И.В., Чечулин Б.Б. Титан в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
4. Ванжула Т.В., Замков В.Н., Прилуцький В.П. Повышение износостойкости деталей их титановых сплавов. Обзор // Автоматическая сварка. – 2003. – № 8. – С. 31 - 35.
5. Посвятенко Е.К. Холодне пластичне деформування як метод прискорення азотування / Е. К. Посвятенко, В. В. Алексеев // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. – 2012. – Вип. 9. – С. 157-161.
6. Хорев А.И., Хорев М.А. Титановые сплавы: применение и перспективы развития // Титан. – 2005. – №1. – С. 40 - 53.
7. Шейкін С.С., Єфросинін Д.В., Ростоцький І.Ю. Зміна стану поверхневого шару під час накатування сплавів VT1-0 і VT22 інструментом з алмазного композиційного термостійкого матеріалу // Фізика і техніка високих давлень. – Том 21, № 1. – К.: ІНМ НАН України. – 2011. – С. 134-139
8. Остапчук В.В., Семишов Н.И. Влияние режимов упрочняющей термической обработки на структуру и свойства титанового сплава VT22 // Питання проектування та виробництва конструкцій літальних апаратів. Зб. наук. праць. – 2010. – №2. – С. 38 - 43.
9. Chemico-thermal treatment of titanium alloys – Nitriding / I. Pohrelyuk, V. Fedirko // Titanium Alloys – Towards Achieving Enhanced Properties for Diversified Applications (Chapter 7), Book edited by Prof. Dr. Akm Nurul Amin. – InTech, 2012. – P. 141-174.
10. Пат. 9692 України. Спосіб обробки титанового сплаву. / В.М. Федірко, І.М. Погрелюк, В.А. Трофімов, О.Г. Моляр, Т.М. Кравчишин. – №u200502148; Заявл. 09.03.2005; Опубл. 17.10.2005, Бюл. №10.

Поступила в редакцію 14.03.2016

I.M. Pohrelyuk, S.M. Lavrys. **The influence nitriding during the combined treatment on the wear resistance of titanium alloy VT22.**

It was investigated wear resistance of titanium alloy VT22 after combined treatment. The method of combination treatment consisted in previous cold surface plastic deformation (CSPD) and next thermodiffusion nitrogen saturation (TDN) surface, combined with the standard thermal treatment of the alloy. Established that saturation with nitrogen at a temperature 750 °C for 3 h in the second stage standard thermal treatment of alloy causes to a reduction in hardness and improving the quality surface strengthened layer that provides higher tribotechnical characteristics paired with a bronze BrAZhN 10-4-4 compared to saturation for 820 °C 1 h + 750 °C 3 h on the first and second stages of standard thermal treatment of alloy. During friction, nitrogen saturation in the second degree of the standard heat treatment alloy VT22 (regime II) in 2 times the intensity reduces wear compared to nitrogen saturation of first degree (regime I).

Keywords: titanium alloy VT 22, surface plastic deformation, nitriding, surface hardening, wear, friction, coefficient of friction.

References

1. Duhota O.I. Problemni pytannja vykorystannja tytanovyh splaviv u vuzlah tertja aviacijnoi' tehniky. O.I. Duhota, M.V. Kindrachuk, V.F. Labunec'. Problemy tertja ta znoshuvannja: nauk.-tehn. zb. K.: NAU, 2008. Vyp.49. s. 14–26.
2. Mehanika rujnuvannja i micnosti materialiv: Dovidn. Posibnyk. Pid zag. red. V.V. Panasjuka. T. 9: Micnist' i dovgovichnist' aviacijnyh materialiv ta elementiv konstrukcij. O.P. Ostash, V.M. Fedirko, V.M. Uchanin, S.A. Bychkov, O.G. Moljar, O.I. Semenev', V.S. Kravec', V.Ja. Derecha. Pid. red. O.P. Ostasha, V.M. Fedirka. L'viv: Vyd-vo "Spolom", 2007. 1068 s.
3. Gorynin I.V., Chechulin B.B. Titan v mashinostroenii. M.: Mashinostroenie, 1990. 400 s.
4. Vanzhula T.V., Zamkov V.N., Priluc'kij V.P. Povyshenie iznosostojkosti detalej ih titanovyh splavov. Obzor. Avtomaticheskaja svarka. 2003. №8. S. 31 – 35.
5. Posvjatenko E.K. Holodne plastychne deformuvannja jak metod pryskorennja azotuvannja. E. K. Posvjatenko, V. V. Aljeksjejev. Upravlinnja proektamy, systemnyj analiz i logistyka. Tehnichna serija. 2012. Vyp. 9. S. 157-161.
6. Horev A.I., Horev M.A. Titanovye splavy: primenenie i perspektivy razvitija. Titan. 2005. №1. S. 40 – 53.
7. Shejkin S.Je., Jefrosynin D.V., Rostoc'kyj I.Ju. Zmina stanu poverhneвого шарu pid chas nakatuvannja splaviv VT1-0 i VT22 instrumentom zalmaznogo kompozycijnogo termostijjkogo materialu. Fyzyka y tehnika vysokyh davlenyj. Tom 21, № 1. Kyi'v: INM NAN Ukraïny. 2011. S. 134 –139.
8. Ostapchuk V.V., Semishov N.I. Vlihanie rezhimov uprochnjajushhej termicheskoj obrabotki na strukturu i svojstva titanovogo splava VT22. Pitannja proektuvannja ta virobництва konstrukcij lital'nih aparativ. Zb. nauk. prac'. 2010. №2. S. 38 – 43.
9. Chemico-thermal treatment of titanium alloys – Nitriding. I. Pohrelyuk, V, Fedirko. Titanium Alloys – Towards Achieving Enhanced Properties for Diversified Applications (Chapter 7), Book edited by Prof. Dr. Akm Nurul Amin. InTech, 2012. P. 141-174.
10. Pat. 9692 Ukraïny. Sposib obrobky tytanovogo splavu. V.M. Fedirko, I.M. Pogreljuk, V.A. Trofimov, O.G. Moljar, T.M. Kravchyshyn. №u200502148; Zajavl. 09.03.2005; Opubl. 17.10.2005, Bjul. №10.