

## ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СПЛАВУ VT6 З КОМПЛЕКСНИМИ ПОКРИТТЯМИ НА ОСНОВІ ХРОМУ ТА АЛЮМІНІЮ

Лоскутова Т.В., к.т.н., доц., Хижняк В.Г., д.т.н., проф., Погребова І.С., к.х.н., проф., Смокович І.Я., к.т.н., Кузьменко Т.М., н.с., КПІ ім. І.Сікорського

*Анотація.* У роботі наведені результати досліджень фазового та хімічного складів, структури та властивостей титанового сплаву VT6 з хромоалітованими покриттями. Показано, що зносостійкість в умовах тертя ковзання без змащування сплаву VT6 з хромоалітованими покриттями виявилась вищою у 2,0 – 3,5 рази за зносостійкість вихідного сплаву VT6 (HRC 3,6).

*Ключеві слова:* титан, алюміній, хром, покриття, знос

## ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СПЛАВА VT6 С КОМПЛЕКСНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ ХРОМА И АЛЮМИНИЯ

Лоскутова Т.В., к.т.н., доц., Хижняк В.Г., д.т.н., проф., Погребова І.С., к.х.н., проф., Смокович І.Я., к.т.н., Кузьменко Т.М., н.с., КПИ им. И.Сикорского

*Аннотация.* В работе приведены результаты исследований фазового и химического состава, структуры и свойств титанового сплава VT6 с покрытиями на основе хрома и алюминия. Показано, что износостойкость в условиях трения скольжения без смазки сплава VT6 с покрытиями оказалась выше в 2,0 - 3,5 раза, чем износостойкость исходного сплава VT6 (HRC 3,6).

*Ключевые слова:* титан, алюминий, хром, покрытия, износ

## WEAR RESISTANCE OF VT6 ALLOY WITH COMPLEX COATINGS BASED ON CHROMIUM AND ALUMINUM

Loskutova T., Khyzhnyak V., Pogrebova I., Smokovich I., Kuzmenko T.M.  
National Technical University of Ukraine ‘Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute’

*Abstract.* The paper presents the results of research of phase and chemical compositions, structure and properties of titanium alloy vt6 with complex coatings based on chromium and aluminum. It is shown that the wear resistance under sliding friction conditions without lubrication of the vt6 alloy with coatings was 2.0 - 3.5 times higher than the wear resistance of the original VT6 alloy (HRC 3.6).

*Keywords:* titanium, aluminum, chrome, coating, wear

### Вступ

Пошук нових захисних покриттів, які здатні розширити експлуатаційні можливості титану та титанових сплавів інтенсивно ведеться серед вітчизняного та іноземного кола науковців [1-2]. Якісні покриття з унікальним комплексом властивостей можуть утворюватися в процесі дифузійного насичення з використанням штучно створених активізованих середовищ [3-7]. Досить широке використання мають дифузійні покриття на основі нітридів, карбідів, інтерметалідів металів.

Підвищення зносостійкості титанових сплавів може бути досягнуто за рахунок як збільшення поверхневої мікротвердості, так і формуванням на поверхні бар’єрних шарів, які будуть перешкоджати перерозподілу елементів покриття при взаємодії з контактуючим матеріалом.

Високу зносостійкість показали покриття отримані хімічним осадженням – Ti(C,N), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiN, а найбільшу міцність - покриття отриманими фізичним осадженням - (Ti,Al)N, TiN [8].

Мета даної роботи полягає в дослідженні зносостійкості сплаву VT6 після комплексного хромоалітування в середовищі NH<sub>4</sub>Cl.

## Основна частина

Дослідження проводили на зразках титанового сплаву ВТ6 наступного складу, % мас: 89,05Ti; 6,18Al; 4,76V.

Процес хромоалітування сплавів проводили в порошкових сумішах в контейнерах з плавким затвором. До складу вихідної суміші входили порошки (% мас) хрому (45,0), алюмінію (10),  $Al_2O_3$  (37,0),  $NH_4Cl$  (8,0). Хромоалітування проводили при температурі  $1050^\circ C$  впродовж 4 годин. Зразки з отриманими покриттями були досліджені методами фізичного матеріалознавства: рентгеноструктурним, мікрорентгеноспектральним, металографічним, дюрOMETричним. Випробування на зносостійкість виробів в умовах тертя ковзання без змащування титанового сплаву ВТ6 у вихідному стані та з покриттями виконували на машині тертя МТ-68 по схемі вал-вкладка. В якості матеріалу контртіла використовували – сталь 65Г, загартовану і відпущену на твердість HRC 51-52.

Відповідно до результатів металографічного, мікрорентгеноспектрального, рентгеноструктурного аналізів та вимірювання мікротвердості в покритті можна визначити три зони. Дифрактограми, зняті з поверхні зразків сплаву ВТ6 з отриманими покриттями показав наявність дифракційних максимумів, характерних для нітридів TiN та  $Ti_2AlN$ . По мірі просування вглиб покриття фіксуються зони на основі інтерметалідів за участі титану, алюмінію, хрому-  $Al_3(Ti, Cr)$ ,  $Al_2Ti$ .

Встановлено, що шар на основі нітриду титану TiN містить 7,9-8,0% мас. алюмінію, 78,2-78,5% мас. титану, 1,0 %мас. ванадію. Крім цього, цей шар містить 12,6-12,8 % мас. азоту. Далі розташовано шар на основі  $Ti_2AlN$  з підвищеним вмістом алюмінію (17,9-19,2% мас.), вміст азоту, титану, ванадію в ньому становить : 5,5-6,3 %мас, 74,4-74,8 %мас., 0,9-1,0 %мас., відповідно. В фазі  $Al_3(Ti, Cr)$  міститься 53,5-60,2 %мас. алюмінію, 30,3-31,7% мас. титану, 0,6-0,9 %мас. ванадію, 7,4-15,6%мас. хрому. Азот в даній зоні зникає. Далі по мірі просування вглуб покриття спостерігається шар на основі  $Al_2Ti$ , що містить 50,3-50,6 %мас. алюмінію, 44,2-46,5% мас. титану, 1,0-1,8 % мас. ванадію, 1,4-4,2%мас. хрому. До основи примикає шар на основі  $AlTi_3$ , що містить 19,4-19,9 %алюмінію, 77,0-77,5%мас титану, 0,8-1,3 хрому, 1,8-2,3 %мас.ванадію. За межею розділу покриття-матриця знаходиться шар, що відповідає  $\alpha-Ti(Al)$  з підвищеним вмістом алюмінію (11,3-11,7 %мас).

Загальні товщина отриманих покриттів складає 17,0-20,0мкм. При цьому товщина зовнішнього шару на основі нітридів TiN ,  $Ti_2AlN$  – становить 5,0-6,5 мкм. Мікротвердість нітридів становить 16,0-14,0 ГПа, інтерметалідів – 5,8-4,0 ГПа.

В роботі була досліджена зносостійкість сплаву ВТ6 з покриттями в умовах тертя ковзання без змащування. Результати роботи наведені на рис.1, табл.1. Аналіз отриманих даних показав, що на поверхні в сформований лунці зносу спостерігаються окремі лінії абразивного мікрорізання витягнуті в напрямку тертя. Цілком зрозуміло, що в якості абразиву виступають зруйновані і відокремлені від покриття частки нітрида титану та оксидів  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ . Останній оксид, цілком вірогідно, міг утворитися на поверхні під час ХТО. Два інших оксида,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ - сформувались під час тертя. Відомо [9], що температура в зоні контакту при терті може досягати значних температур. Встановлено, що при температурі  $700^\circ C$  на поверхні формуються оксиди  $TiO_2$  (рутил, анатаз),  $Cr_2O_3$ . Відокремлені під час тертя оксиди попадають в зону тертя і виконують роль абразива.

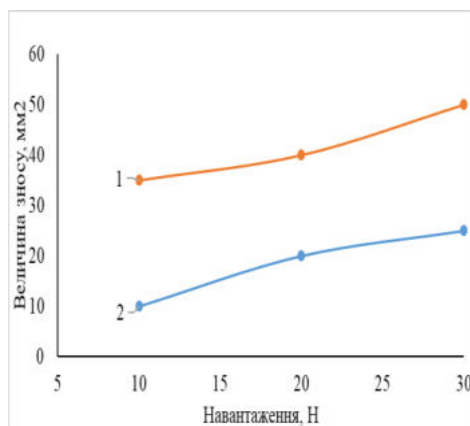


Рисунок 1 – Залежність величини зносу сплаву ВТ6 від навантаження; 1 – вихідний стан, 2 – після хромоалітування

Мікрорентгеноспектральним аналізом визначено, що в лунці зносу виявлена присутність алюмінія, хрома, титана, кисня, азота, що дає можливість передбачати присутність оксидів в якості абразива. Крім того, оксид титана  $TiO_2$  може виконувати роль сухого мастила і сприяти, таким чином зростанню зносостійкості [10].

Таблиця 1 – Концентрація хімічних елементів на поверхні лунки зносу хромоалітованого сплаву ВТ6

№ спектра	Зона лунки зношування	Вміст елементів, % мас.					
		Al	Ti	Cr	N	O	V
1	Лунка	38,0	39,3	4,1	0,6	15,0	3,0
2	лунка-покриття	35,0	38,6	1,7	8,0	12,1	4,6
3	Покриття	30,3	53,6	0,3	4,7	11,0	0,1
4	покриття-лунка	29,1	55,1	0,8	3,4	11,5	0,1
5	Покриття	29,6	44,7	0,6	14,1	10,5	0,5
6	Покриття	28,1	48,9	0,8	10,0	12,1	0,1
7	Покриття	26,0	53,8	1,0	13,0	6,0	0,2
8	Лунка	35,5	41,6	6,4	0,9	13,2	2,4

Отже, зносостійкість в умовах тертя ковзання без змащування сплаву ВТ6 з хромоалітованими покриттями виявилась вищою у 2,0 – 3,5 рази за зносостійкість вихідного сплаву ВТ6 (HRC 3,6). Висока зносостійкість зумовлена будовою та властивостями покриттів: високою мікротвердістю, наявністю шарів  $TiN$ ,  $Ti_2AlN$ ; інтерметалідів;  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$

### Література

- Gurrappa I. Characterisation of titanium alloy, IMI-834 for corrosion resistance under different environmental conditions / I. Gurrappa, D. Venugopala Reddy // Journal of Alloys and Compounds. – 2005. – 390. – P. 270–274.
- Güleyüz H. Effect of thermal oxidation on corrosion and corrosion–wear behaviour of a Ti–6Al–4V alloy / H. Güleyüz, Cimenoglu H. // Biomaterials. – 2004. – 2005. – P. 3325–3333.
- Лучанинов А. А. Покрyтия системы Ti-Al-N, нанесенные PVD методами / А. А. Лучанинов, В.Е. Стрельницкий // ФИП. – т.10. – №1. – 2012. – P. 4-21.
- Metals handbook / edited by J. R. Davis; ASM International Handbook Commtee. – Desk ed.; 2nd ed., United States of America, 1998.
- Лоскутов В. Ф., Хижняк В. Г., Куницкий Ю. А. и др. Диффузионные карбидные покрытия. – Киев: Техніка, 1991. – 168 с.
- Самсонов Г. В., Эпик А. П. Тугоплавкие покрытия. – М.: Металлургия. – 1973. – 400 с.
- Григорьев С.Н. Перспективные технологии и оборудование для комбинированной вакуумно – плазменной обработки деталей/ С.Н.Григорьев// Металл. Оборудование. Инструмент.-2003.- С.36-40
- Хижняк В.Г. Титанохромування твердого сплаву ВК8 за умов зниженого тиску в середовищі хлору / В.Г. Хижняк, А.І. Дегула, Т.В. Лоскутова // Металознавство та обробка метал-ів. –Київ.- 2008.- №4. -С. 36-40.
- Мацевитый В.М.Покытия для режущих инструментов.-Х.:Вища шк. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1987.-128 с.
- Deepak G. Bhat and Paul F. Woerner. Coatings for cutting tools. Journal of Metals. V. 38 (Feb. 1986). – p. 68 – 69.