

**ТЕХНІЧНІ НАУКИ****Андрійченко Т.С., Зарецька Н.С., Білоконь А.Є.***студенти,**Науковий керівник: Лоскутова Т.В.**кандидат технічних наук, доцент,**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут**імені Ігоря Сікорського»***ПІДВИЩЕННЯ ЖАРОСТІЙКОСТІ СТАЛІ У8А ШЛЯХОМ НАНЕСЕННЯ ДИФУЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ СИСТЕМИ TI-CR-AL**

При виборі нагрівальних середовищ під загартування виробів зі сталі з покриттями велике значення має їх жаростійкість, яка залежить від складу та будови покриттів. Відомо, що температура окислення покриттів на основі карбіду титану знаходиться на рівні 800-850 °С, карбідів хрому 950-1000 °С. Титаноалітування підвищує в декілька разів жаростійкість сталей 15Х25Т, 12Х18НЮТ, 31Х19Н9ВМБТ при 1000° С [1-3].

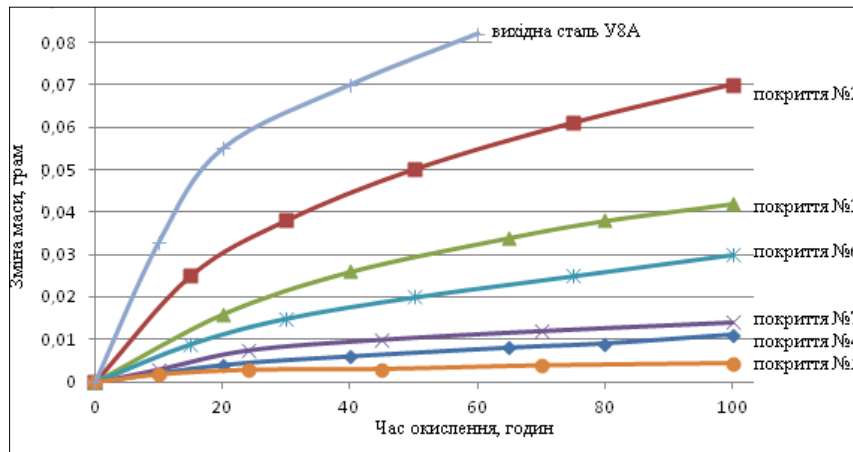
В дійсній роботі досліджувалась жаростійкість сталі У8А у вихідному стані та з нанесеними на її поверхню дифузійними покриттями на основі титану, хрому та алюмінію. Нітрид титану TiN наносили на установці ВУ1Б з титановим катодом методом фізичного осадження з газової фази при температурі 560-600°С впродовж 25 хвилин. Хромування та титанування сталі здійснювали в закритому реакційному просторі за умов зниженого тиску з використанням в якості вихідних реагентів порошків хрому чи титану та чотирихлористого вуглецю  $CCl_4$ [1]. Алітування проводили порошковим методом в насичуючій суміші наступного складу: Al (15%) +  $NH_4Cl$  (3%) +  $Al_2O_3$  (40%). Комплексне титаноалітування, хромоалітування, хромотитаноалітування попередньо обробленої сталі У8А виконували в контейнерах з плавким затвором в суміші порошків: Ti (40%) + Al (10%) (титаноалітування); Cr(45%) + Al (5%) (хромоалітування); Ti (15%) + Al (10%)+ Cr(25%) (хромотитаноалітування). Крім того, до складу насичуючих сумішей вводили активатор (хлористий амоній,  $NH_4Cl$ , 3%), який при взаємодії з порошками металів утворював насичуючу фазу – та інертну добавку ( $Al_2O_3$ , 47%), яка перешкождала спіканню порошків металів в процесі ХТО. Аналіз дифракційних піків покриттів, зайятих на дифрактометрі ДРОН УМ-1 розшифровували за допомогою програми «Powder Cell 2.2.». Мікроструктуру покриттів досліджували на мікроскопі Neophot 7, мікротвердість – на ПМТ 3. Результати досліджень фазового складу та властивостей отриманих в роботі покриттів наведена в табл. 1.

Таблиця 1

## Фазовий склад та характеристики покриттів на сталі У8А

Покриття, №	Вид обробки, температура, °С; час насичення, год	Фазовий склад	Період гратки, нм	Товщина, мкм	Мікротвердість, ГПа
1	TiN; фізичне осадження	TiN	a=0,4239	5,5	19,6
2	Титанування, 1050, 4	Fe <sub>2</sub> Ti TiC	a = 0,4780; c = 0,7800; a = 0,4328	2,0 16,5	8,1 42,5
3	Алітування	FeAl, Fea(Al)		36,0	3,5-5,3
4	Хромування, 1050, 4	FeCr	a: 0,881 c: 0,5446	2,0 -3,0	6,5-7,0
		Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	a:1,0688	5,5-6,0	17,5-16,0
		Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	a: 0,7081; b:1,2187; c: 0,4545	7,5	15-13,5
5	Хромування 1050, 4 з наступним хромоалітуванням 1050, 4	Cr <sub>2</sub> Al	a:0,3005 b:0,3005 c:0,878	4,0-5,0	10,0-11,5
		Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	a:1,0645	8,0-9,0	20,5-18,0
		Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	a: 0,6896 b: 1,2421 c: 0,4532	5,0-7,0	15,0-13,5
6	Титаноалюмохромування □□, сталь з шаром TiN; TiN, фізичне осадження; титаноалюмохромування 1050; 4.	σ-фаза Ti <sub>12</sub> Al <sub>16</sub> Cr <sub>50</sub> Fe <sub>22</sub>	a = 0,3008 c = 0,8156	1,5-2,0 5,0-5,5	- 9,0
		TiAlCr (FeTi)	a = 0,3984	-	-
		Ti <sub>31</sub> Al <sub>10</sub> Cr <sub>9</sub> Fe <sub>50</sub>	a = 0,4309	16,0	12,4
		TiC	a = 0,4231	3,5-4,0	30,6
		TiN		5,0-5,5	20,4
7	Хромування 1050, 4 з наступним титаноалітуванням 1050, 4	Ti <sub>3</sub> Al	a:0,5650 b:0,5650 c:0,4576	11,0-12,5	5,8-10,0
		Cr <sub>2</sub> Ti	a=0,6948		
		TiC	a: 0,4328	5,5-6,0	30,0-34,0
		Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	a:1,0665		22,0
		Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	a: 0,689 b: 1,2421 c: 0,4532	13,0-14	14,0

З метою визначення впливу покриттів різного типу на жаростійкість вихідної сталі У8А, сталь після дифузійного насичення піддавали високотемпературному окисленню в атмосфері повітря при температурі 800°С протягом 100 годин. Жаростійкість вихідної сталі У8А та сталі з покриттями визначали за зміною маси зразків розміром 10 × 5 × 3 мм впродовж 100 годин із використанням аналітичних терезів марки АДВ–200. Здійснювали не менше п'яти паралельних випробувань, розходження результатів паралельних випробувань не перевищувало 6-10%. Результати зміни маси зразків впродовж певного часу окислення наведені на (рис. 1).



**Рис. 1. Кінетика окиснення сталі У8А з дифузійними покриттями при температурі 800 °С**

Аналіз отриманих даних показав, що жаростійкість сталі з покриттями зростає в наступному ряду: сталь У8А < покриття № 2 < покриття № 3 < покриття № 6 < покриття № 7 < покриття № 4 < покриття № 5 (табл. 1). Покриття № 5, отримані хромуванням з наступним хромоалітуванням, значно збільшують опір сталі в умовах високотемпературного окиснення при температурі 800 °С. Після 100 годин корозійних випробувань зміна маси покриттів при даній температурі на перевищують  $5 \cdot 10^{-3}$  г, в той час як однокомпонентні покриття (№ 2, 3), отримані шляхом титанування або алітування, мають невисоку жаростійкість за таких температур. Значно більшу жаростійкість, ніж покриття (№ 2, 3) виявляють покриття (№ 4), що обумовлено формуванням на поверхні оксидів хрому  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Висока жаростійкість зразків з покриттям № 5, згідно до результатів мікроструктурного та рентгеноструктурного аналізів, обумовлена формуванням на їх поверхні суцільної захисної плівки темно сірого (майже чорного) кольору, що відповідає фазі на основі як оксиду хрому  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , так і оксиду алюмінію  $\text{Al}_2\text{O}_3$  –  $(\text{Cr,Al})_2\text{O}_3$  [5; 6]. Багатокомпонентні покриття за участю титану (№ 6, 7), за тих же умов окиснення, мають меншу жаростійкість, ніж відповідні хромхромалітовані, це пояснюється формуванням на їх поверхні окрім плівок оксидів хрому та алюмінію, нещільних, пухких плівок оксидів титану  $\text{TiO}_2$  з незадовільними захисними властивостями [7; 8].

Результатати графічної обробки отриманих даних свідчать про те, що для сталі У8А і для сталі з дослідженими покриттям (крім покриття № 6 при  $\tau < 30$  год) в координатах  $\lg \Delta m - \lg t$  виконуються лінійні залежності, що згідно з [9], вказує на дифузійний механізм їх високотемпературного окиснення.

Таким чином, нанесення на поверхню сталі У8А дифузійних покриттів за участю хрому, титану та алюмінію призводить до підвищення у 1,5-170 разів її жаростійкості при температурі 800 °С у повітряному середовищі. Жаростійкість досліджених покриттів залежить від їх складу, будови та часу випробувань. Найбільшу жаростійкість впродовж всього часу корозійних випробувань виявляють комплексні багатокомпонентні покриття за участю хрому та алюмінію, що обумовлено утворенням на їх поверхні суцільної захисної плівки

складних оксидів типу  $(Cr,Al)_2O_3$ . Нанесення на поверхню сталі комплексних покриттів на основі хрому та алюмінію за участю титану призводить до зменшення їх жаростійкості у 3-6 разів. Такий негативний вплив титану на захисні властивості комплексних дифузійних покриттів обумовлений низкою різних факторів: більшим, ніж у заліза (1,29 Å), атомним радіусом титану (1,49 Å), що уповільнює його дифузію до поверхні зразків, де утворюється оксидні плівки  $TiO_2$ ; близькою до утворення оксиду заліза  $Fe_2O_3$  теплоти утворення оксиду титану, що обумовлює нестабільність останнього і ймовірність його відновлення основним металом; меншою, ніж в металі основи розчинністю кисню в оксиді титану, що викликає його деградацію та утворення при високих температурах рихлих плівок; зміною модифікації оксиду титану при температурі 642 °С з  $\alpha$ -анатазу до  $\beta$ -анатазу [11], яка полегшує дифузію атомів заліза основи до поверхні покриття, та ін.

Таким чином, нагрівання сталі У8А під гартування з розробленим покриттям можна здійснювати в повітряній атмосфері. Тривала витримка виробів з покриттями даного типу потребує застосування печей із без окислювальним нагріванням, або використання спеціальних засипок (прожарений річний пісок, чавунну стружку, відпрацьований технічний карбід бору та ін. [11].

### Список використаних джерел:

1. Лоскутова В.Ф., Хижняк В.Г., Погребова І.С., Горбатюк Р.М., Бочар І.Й. Карбідні покриття на сталях і твердих сплавах. Тернопіль: Лілея, 1998. 144 с.
2. Той Л. Карбіди і нітриди перехідних металів. – М.: Мир. – 1974. – 294 с.
3. Хіміко-термічна обробка металів і сплавів. Довідник. Борисенко Г.В., Васильєв Л.А., Ворошнін Л.Г. та ін. М.: Металургія, 1981. – 424 с.
4. Земсков Г.В. Многокомпонентное диффузионное насыщение металлов и сплавов / Земсков Г.В., Коган Р.Л. – М.: Металлургия, 1978. – 208 с.
5. Fox-Rabinovich Wilkinson D.S., Veldhuis S.C., Dosbaeva G.K., Weatherly G.C. Oxidation resistance Ti – Al – Cr alloy for protective coating application Intermetallics. – 2006. – № 14. – P. 189-197.
6. O.M. Varabash, Yu.V. Milman, D.V. Miracle, M.B. Kaprets, N.P. Korzhova, T.N. Legkaya, N.M. Mordovets, Yu. N. Podresov, I.V. Voskoboinik. Formation of periodic microstructures involving the L12 phase in eutectic Al – Ti – Cr alloys. Intermetallics 11(2003). P. 953-962.
7. Хижняк В.Г., Курило Н.А. Будова та механічні властивості карбідних та нітридних покриттів титану, ванадію та хрому на сталі У8А. Металознавство та обробка металів. – 2007. – № 3. – С. 17-21.
8. Lee J.K., Oh M. H., Wee D.M., Long-Term oxidation properties of Al – Ti – Cr two-phase alloys as coating materials for TiAl alloys. Intermetallics 10 (2002). – P. 347-352.
9. Жук Н.П. Курс коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
10. Самсонов Г.В. и др. Физико-химический свойства окислов – М.: Металлургия, 1969. – 456 с.
11. Чернега С.М., Лоскутов В.Ф., Лоскутова Т.В., Єгорова О.М., Дяченко О.А., Янцевич К.В. Спосіб герметизації контейнерів при хіміко-термічній обробці металевих виробів. Деклараційний патент України на винахід № 54844 А від 17.03.2003. Бюлетень № 3.