

ПЛАЗМЕНО АЗОТИРАНЕ НА Ti-6Al-4V С ИНДИРЕКТЕН ПЛАЗМОТРОН

Момчил Манов, Христо Скулев

Abstract: This article presents an experiment which consists of plasma gas nitriding of titanium alloy Ti-6Al-4V. The goal of the experiment is improving tribological properties of titanium alloys in working conditions under sliding contact. Data obtained from the experiment is necessary for creating of technology for formation of surface layer with definite thickness.

Key words: Ti-6Al-4V, Plasma gas nitriding, Surface hardening.

2. Въведение

Титановите сплави се характеризират с ниска плътност, висока якост и корозиоустойчивост. Това ги прави атрактивен материал за конструиране на различни детайли в корабостроенето. Наред с това те притежават лоши трибологични свойства при плъзгащ контакт, висок и нестабилен коефициент на триене, адхезионно износване и силна склонност към задиране с други материали. Това говори за лошо абразивно и адхезионно съпротивление на износване и строго ограничава трибологичното им използване. Полагат се значителни усилия за развитие на технологиите за обработка на титановите сплави с цел получаване на дълготраен защитен повърхностен слой и разширяване сферите на приложение. За да се постигнат желаните свойства на материала се използват различни видове повърхностна обработка [4,6,8,10]. Плазмено газовото азотиране е широко използван метод за повишаване повърхностната твърдост и подобряване трибологичните свойства на титановите сплави. Процесът се характеризира с дифузия на азотни атоми в металната повърхност в присъствието на плазмена среда. Азотът се подава във форма на смес от аргон и азот. Азотните атоми /атомно тегло 14.0067 g·mol⁻¹/ са много по-малки от тези на титана /атомно тегло 47.8670 g·mol⁻¹/, което дава възможност лесно да проникнат в материала и да образуват твърд разтвор. Концентрацията на азота на повърхността е висока. При формиране на повърхностният слой, азотните атоми преминават дифузионно в структурата. При определени условия те повишават

повърхностната твърдост и значително се подобряват трибологичните характеристики на титановите сплави за кратко време [5,7,9]. С провеждането на експерименти и изследване структурата и свойствата на титановите сплави след плазмено газово азотиране се разширяват значително сферите на приложението им. Описаните експерименти в настоящата статия имат за цел създаване и изследване на технология за получаване на повърхностен слой с определена дебелина.

2. Планиране на експеримента.

За изследване структурата и свойствата на титановите сплави и провеждане на конкретен експеримент е необходимо да се извърши планиране. Избрана е методика на Rechtschaffner за три променливи фактора с 15 опита. Основният мотив за избора на тази методика е нейната достъпност и простота. Тя дава възможност за получаване на реален резултат от експеримента с извършване на по-малък брой опити в сравнение с пълното комбинирание на три фактора с три стойности на изменение /27/[1,2,3]. Използва се централно въртящ се съставен дизайн, като изходната величина се изразява с емпиричен полином от втори ред:

$$y = b_0 + \sum_{i=0}^k b_i X_i + \sum_{1 \leq i < j}^k b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

където:

- b_0, b_i, b_{ij} и b_{ii} са регресионни коефициенти;
- X_i и X_j са стойностите на входните величини.

Броят на опитите в експеримента се определя с израза:

$$N = 2^k + 2k + n_0 = n_k + n_\alpha + n_0 \quad (2)$$

където:

- k е броят на параметрите;
- n_0 е броят на повторенията в средното ниво;
- n_α е броя на експериментите в централните оси.

За конкретният случай $k=3$ а $n_0=1$.

X1 - величина на тока I, A;

X2 - величина на количеството изразходен плазмообразуващ газ N₂, l/min;

X3 - величина на времето за азотиране на образца t, min.

Избрани са стойности на входните фактори както следва:

- за X1 300, 400 и 500 A /-1,0,1/;
- за X2 2, 4 и 6 l/min /-1,0,1/;
- за X3 1, 2 и 3 min /-1,0,1/.

На таблица 1 са показани входните фактори и броя на опитите при провеждане на експеримента с конкретните значения на трите променливи фактора за всеки един от тях.

Таблица 1			
№ на експ.	Фактори		
	X1	X2	X3
1	0	0	0
2	1	1	1
3	1	0	0
4	1	-1	-1
5	-1	-1	1
6	0	0	-1
7	-1	0	0
8	0	0	1
9	1	1	-1
10	-1	1	1
11	1	-1	1
12	0	-1	0
13	0	1	0
14	-1	1	-1
15	-1	-1	-1

3. Експеримент и резултати.

Образците, използвани в настоящият експеримент са от сплав Ti-6Al-4V с размери 4x8x15 mm. Процесът на азотиране се осъществява с индиректен плазмотрон при следните входни параметри:

напряжение – 60 V;

разход на плазмообразуващ газ Ar - 20 l/min;
разстояние от края на дюзата до образца – 100 mm;

Съгласно планът на Rechtschaffner е проведен експеримент, като входните фактори /сила на тока I, A, количество изразходван азот N₂, l/min, време на азотиране t, min/се изменят за всеки образец съгласно таблица 2.



Фиг. 1. Образец от Ti 64 подготвен за азотиране

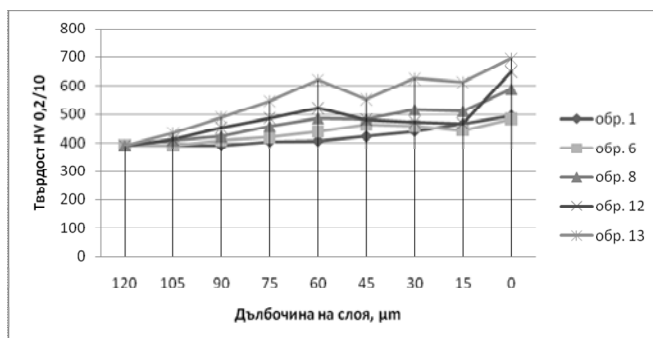
Таблица 2							
№	Фактори			Мощност, kW	Фазов състав	Дебелина на слоя, μm	Цвят
	Ток, A	N ₂ , l/min	Време, min				
1	400	4	2	20,4	TiN	22	златист
2	500	6	3	25,5	TiO ₂ ,TiN	40	бял
3	500	4	2	25,5	TiO ₂ ,TiN	36	бял
4	500	2	1	25,5	TiO ₂ ,TiN	28	бял
5	300	2	3	15,3	TiN	25	златист
6	400	4	1	20,4	TiN	26	златист
7	300	4	2	15,3	TiN	14	златист
8	400	4	3	20,4	TiO ₂ ,TiN	36	бял
9	500	6	1	25,5	TiO ₂ ,TiN	20	бял
10	300	6	3	15,3	TiN	24	златист
11	500	2	3	25,5	TiO ₂ ,TiN	60	бял
12	400	2	2	20,4	TiN	32	златист
13	400	6	2	20,4	TiN	20	златист
14	300	6	1	15,3	TiN	14	златист
15	300	2	1	15,3	TiN	8	златист

Представени са и получените изходни резултати от експеримента /фазов състав, дълбочина на получения слой, цвят на образца/. Важно е да се отбележи, че входните фактори на режима на азотиране оказват влияние върху дълбочината на получения азотиран слой. След извършване на експеримента образците са подготвени за микроструктурен анализ чрез шлифоване с

МАТЕРИАЛОЗНАНИЕ И ТЕРМИЧНА ОБРАБОТКА

набор от металографски шкурки /120, 200, /630 - 700 HV/ а най – ниска при режими 3, 4 и 400, 600, 800, 1200, 2000/ и полиране на 5 /411 - 422 HV/.

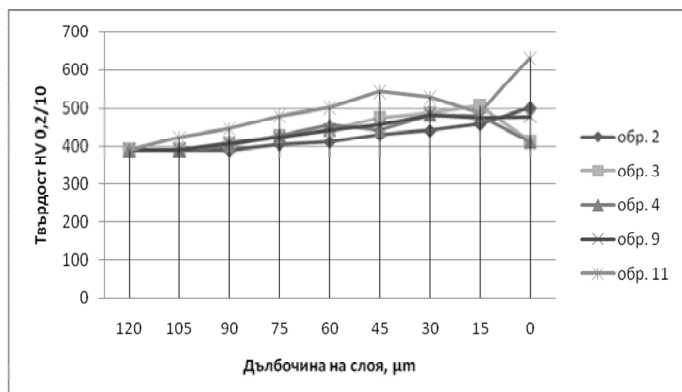
Таблица 3					
№ на експ.	Твърдост, HV				
1	495	466	441	423	407
2	501	458	441	430	411
3	413	506	487	476	443
4	411	482	484	443	457
5	422	444	457	462	437
6	483	443	458	463	440
7	494	469	469	440	409
8	587	511	516	482	486
9	480	476	484	457	444
10	440	432	446	466	437
11	630	487	527	541	502
12	647	467	473	480	522
13	693	610	624	552	620
14	700	621	563	545	550
15	630	581	623	591	578
Дълбочина на слоя, μm	5	15	30	45	60



Фиг. 3. Изменение на микротвърдостта на образци азотирани при ток на плазмотрона 400А

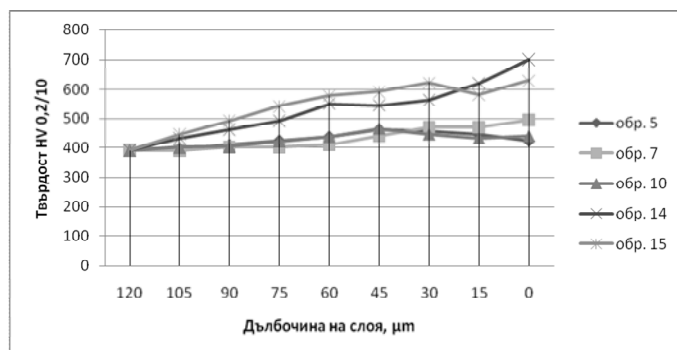
Резултатите от измерване на микротвърдост на образците са представени графично на Фиг. 2, 3 и 4. Критерият, по който са групирани азотираните образци е силата на тока /А/.

От анализа на резултатите, получени на Фиг. 2, 3 и 4 се установи, че изменението на тока в граници 300-500А не оказва съществено влияние върху микротвърдостта на азотирания слой. По съществено влияние оказват другите два входни фактора /време за азотиране и разход на азот/.



Фиг. 2. Изменение на микротвърдостта на образци азотирани при ток на плазмотрона 500А

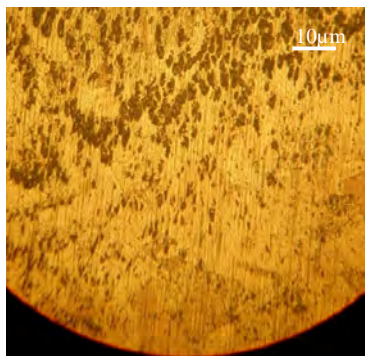
Всички образци са наблюдавани с металографски микроскоп „Neophot 2” и са заснети с фотоапарат “Cannon powershot A 280”. Образците са измерени на микротвърдост с микротвърдомер „ПМТ 3”. Измерванията са осъществени в азотирания слой в три реда по пет измервания на дълбочина от повърхността. Средните стойности на микротвърдостите на образците във всеки един от слоевете са показани в таблица 3. Най - висока твърдост се постига при режими на азотиране 11, 12, 13, 14 и 15



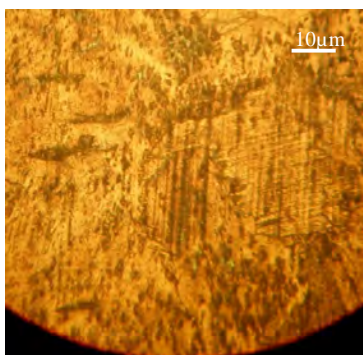
Фиг. 4. Изменение на микротвърдостта на образци азотирани при ток на плазмотрона 300А

На Фиг. 5, 7 и 6, 8 е показан азотиран слой съответно от /TiO₂, TiN/ и TiN при увеличение 100 и 200 пъти. Вижда се че при различните режими на азотиране дълбочината на азотираният слой се променя. Основно влияние оказва количеството азот и времето за протичане на процеса азотиране. Количеството изразходен газ N₂ влияе също така и върху мощността на плазмотрона и микротвърдостта на азотирания слой.

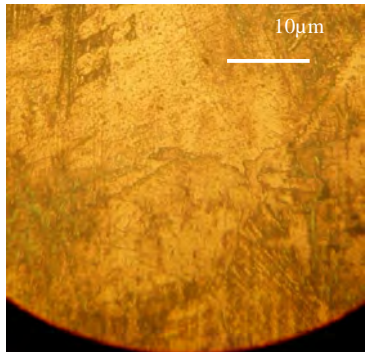
4. Изводи.



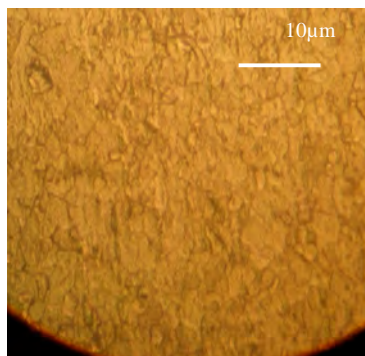
Фиг. 5. Азотиран слой на образец 2 /TiO₂,TiN/ с увеличение 100



Фиг. 6. Азотиран слой на образец 7 /TiN/с увеличение 100



Фиг. 7. Азотиран слой на образец 8 /TiO₂,TiN/с увеличение 200



Фиг. 8. Азотиран слой на образец 14 /TiN/с увеличение 200

Плазменото газово азотиране с индиректен плазмотрон има редица предимства, като техника за промяна свойствата на повърхностния слой и подобряване трибологичните характеристики на титановите сплави. От проведените експерименти може да се установи появата на слой от /TiO₂, TiN/ или TiN, които определят цвета на повърхностния слой на азотираните образци. Дълбочината на получения слой зависи основно от времето на азотиране и разхода на плазмообразуващ газ N₂ и в по-малка степен от промяната на силата на тока в границите 300 - 500А.

Използвана литература:

- [1] T. Bacci, F. Borgioli, E. Galvanetto, F. Galliano, B. Tesi, Wear (2000)
- [2] A. Zhecheva, S. Malinov, W. Sha, Z. Metallk. (2003)
- [3] D. Shashkov, Metallovedenie i Termicheskaya Obrabotka Metallov (2001)
- [4] Metals Handbook, ASM International, Materials Park, OH, 1998
- [5] E. Meletis, Intensified plasma-assisted processing of titanium alloys, (2003)
- [6] F.Alonso, M. Rinner, A. Loinaz, Characterization of Ti-6Al-4V modified by nitrogen plasma immersion ion implantation, (1997)
- [7] H. Skulev, S. Malinov, Phase Composition and Microstructure of Titanium Alloys after Surface Plasma Gas Nitriding, Second International Scientific Congress on Mechanical and Electrical Engineering and Marine Industry, Varna, Bulgaria, 2005
- [8] H. Skulev, Study the influence of the technological parameters over the corrosion behavior and surface characterization of Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo and Ti-8Al-1Mo-1V alloys after plasma gas nitriding, 2006
- [9] G. Kaptay, S. Kuznetsov, Plazmas ions, (1999)
- [10] F. Alonso, M. Rinner, A. Loinaz, Characterization of Ti-6Al-4V modified by nitrogen plasma immersion ion implantation, (1997)

За контакти:

Momchil G. Manov
 Naval Academy "N.Y. Vaptsarov", Varna
 E-mail: momchillm@yahoo.com

Hristo K. Skulev
 TU - Varna, Studentska Str. 1
 E-mail: skulev@tu-varna.bg