

$$w(v) = \frac{v}{\sigma^2} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} \quad 0 < v < \infty,$$

$$w(x) = \int_x^\infty \frac{1}{v} \cdot \frac{v}{\sigma^2} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} dv = \frac{\sqrt{2}}{\sigma} \int_{x/\sqrt{2}\sigma}^\infty e^{-t^2} dt = \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}\sigma} \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{2}\sigma} \right].$$

Висновок. Викладена методика створює передумови для розв'язання задачі контакту мікроелементів поверхні, створеної на основі концепції еліптичних параболоїдів як сукупності випадкових факторів. З врахуванням того, що раніше встановлено характер розподілу головних з цих характеристик, можливе отримання рішення для параметрів напруженого стану в мікроелементах. В цьому випадку стає вірогідним створення моделі поведінки певної сукупності мікроелементів в координатах тривалості циклічних навантажень, тобто прогнозування розкриття стику.

Література

1. Пастух І.М., Курской В.С. Методика ідентифікації поверхонь фретинг-контакту / І. М. Пастух, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1. – С. 47-50.
2. Пастух І.М., Курской В.С. Модель контакту мікроелементів поверхонь / І. М. Пастух, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 2. – С. 23-30.
3. Курской В.С., Пастух І.М. Результуюча сила пружного контакту мікроелементів поверхні / В. С. Курской, І. М. Пастух // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 4. – С. 44-49.
4. Курской В.С. Формування моделі поверхні контакту та її характеристик / Курской В.С // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 3. – С. 11-15.

Надійшла 28.1.2011 р.

УДК 621.78/(66.088+537.52+66.046)

Н.С. МАШОВЕЦЬ, І.М. ПАСТУХ, В.Г. КАПЛУН

Хмельницький національний університет

С.М. ВОЛОШКО

Національний технічний університет "Київський політехнічний інститут"

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКОВАНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Методами рентгеноструктурного аналізу, рентгенівської фотоелектронної спектроскопії та електронної оже-спектроскопії досліджені фазові перетворення на поверхні титанового сплаву VT8 після низькотемпературного безводневого азотування в тліючому розряді.

X-ray diffraction analysis, X-ray photoelectron spectroscopy and Electron Auger-spectroscopy investigation of phase transformation on the surface of titanium alloy VT8 after the low temperature hydrogen-free nitriding in the glow discharge.

Ключові слова: модифікація поверхні титанового сплаву, безводневе азотування, рентгеноструктурний аналіз, рентгенівська фотоелектронна спектроскопія, електронна оже-спектроскопія.

Вступ та постановка задачі

Традиційно поверхнева модифікація титанових сплавів азотуванням в тліючому розряді виконувалась при відносно високій температурі [1], проте, при цьому поверхневий шар стає крихким, що суттєво звужує ареал практичного використання методу. Низькотемпературним безводневим азотуванням в тліючому розряді (БАТР), не дивлячись на те, що на поверхні утворюється відносно тонкий шар нітридних структур і спостерігається порівняно невелика глибина дифузійної зони, завдяки саме більшій пластичності відкриваються нові можливості для використання модифікованих титанових сплавів в різних галузях промисловості. Дана робота присвячена дослідженню результатів низькотемпературного БАТР з метою напрацювання рекомендацій для подальшого їх практичного використання.

Експериментальні дослідження

Дослідження фазового складу проводилось методами рентгеноструктурного аналізу, рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (РФЕС) та електронної оже-спектроскопії (ЕОС). Зйомка рентгенівських дифракційних максимумів проводилась на ДРОН-3М в СоК_α випромінюванні, за схемою θ-2θ в інтервалі кутів 30°-100° з шагом 0,05° і експозицією 2 с. По результатам рентгеноструктурного методу також було визначено товщину покриття [2]. Пошаровий аналіз методом ЕОС проводився шляхом травлення поверхні зразків пучком іонів аргону діаметром 1,5 мм з енергією 3000 еВ та щільністю струму 400 мкА/см². Система

автоматизації дозволяє провести пошаровий аналіз за глибиною не гірше 0,5-1 нм. Дослідження виконані за допомогою серійного растрового електронного оже-спектрометра JAMP-10S. Рентгенівські фотоелектронні спектри були отримані на електронному спектрометрі “SERIES 800 XPS” Kratos Analytical, з використанням немонохроматичного MgK_{α} рентгенівського випромінювача (1253,6 eV). З поверхні азотованого титанового сплаву BT-8 було записано спектри остових рівнів Ti2p, O1s та N1s.

Низькотемпературне БАТР виконувалось за наступних параметрів режимів [3]:

режим 1 – температура поверхні 660 °С, тиск 160 Па, тривалість азотування 75 хв;

режим 2 - температура поверхні 580 °С, тиск 160 Па, тривалість азотування 75 хв;

режим 3 - температура поверхні 700 °С, тиск 240 Па, тривалість азотування 130 хв;

режим 4 - температура поверхні 620 °С, тиск 240 Па, тривалість азотування 20 хв.

В режимах 1, 2 використовувалось газове середовище за об’ємом - азот 28%, аргон 72%, в режимах 3, 4 - азот 52 %, аргон 48%.

Рентгеноструктурні дослідження показали, що в результаті низькотемпературного БАТР, на поверхні титанового сплаву BT8 утворюється мононітрид TiN (δ -фаза) та ϵ -фаза Ti_2N . Саме ці фази вдалося зафіксувати, після азотування при температурі 660°C в той час, як порівнюючи з режимом при температурі 580°C, подібні фази не виявлені, відповідно рентгенівське проміння проходить глибше самого покриття.

Товщину нітридного шару зафіксовано для режиму 1 - 2,4 мкм, режиму 2 – 1,8 мкм, режиму 3 -4,1 мкм, режиму 4 – 2,1 мкм. Переважаючими структурами модифікованого шару формованого при режимі 1 є ϵ - фаза Ti_2N , в меншій мірі TiN (δ -фаза), при режимі 2 – Ti- α , тоді як у вихідному стані, в основному спостерігаються Ti- α , Ti- β фази. Ренгенограми для режимів 1, 2 показані на рис. 1.

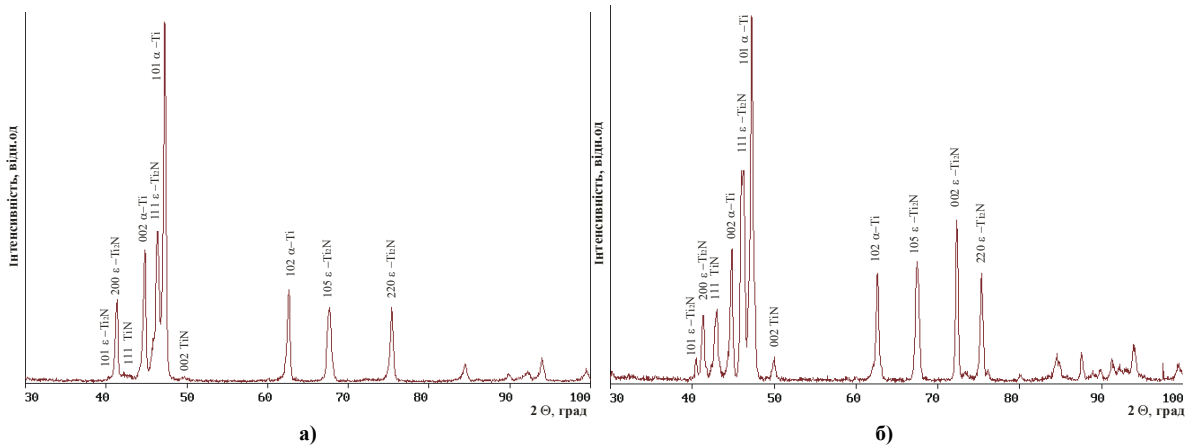


Рис. 1. Рентгенівські рентгенограми титанового сплаву BT8 азотованого за: а) режимом № 2, б) режимом № 1

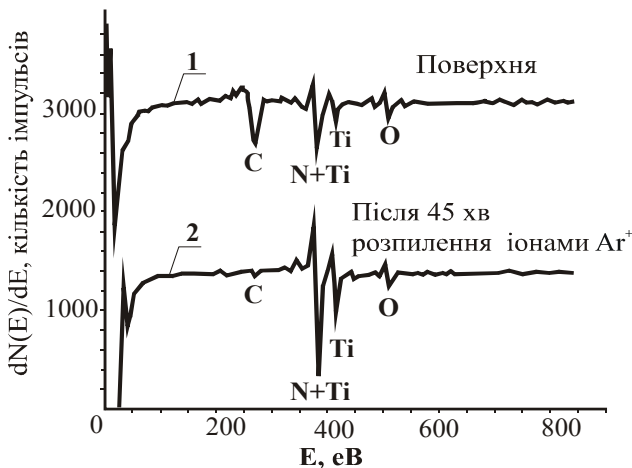


Рис. 2. Спектри оже-електронів азотованого титанового сплаву BT 8 (режим №1):

1 – вихідна поверхня: Ti (N) – 28; O -18; C – 54 ат.%;

2 – травлення іонами Ag^+ 45 хв: Ti (N) – 7 2; O -20; C – 8 ат.%

видалення вуглецю та кисню в оже-спектрах збільшуються піки основних компонентів. Проведення пошарового аналізу дозволяє встановити значну неоднорідність розподілення за глибиною усіх елементів, що аналізувалися.

На рис. 3 показані пошарові залежності основних компонентів сплавів, що досліджуються, отриманих методом іонного травлення. Порівнюючи інтенсивність піків різних режимів іонного азотування, слідє висновок, що при азотуванні при 580°C (режим 2), інтенсивність піків значно менша, ніж при 660°C (режим 1).

Крім того, фазовий склад модифікованої поверхні досліджувався методом рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (РФЕС) та електронної оже-спектроскопії (ЕОС). Методом ЕОС було проведено дослідження поверхні титанового сплаву BT8, азотованого за режимами №1, 2, 3, 4, для визначення розподілення елементів за глибиною в комбінації з розпорошенням матеріалу іонами аргону. На рис. 2 наведені оже-спектри для вихідного стану та після іонного травлення поверхні азотованого титанового сплаву BT8. Аналіз зміни вмісту елементів у поверхневих шарах азотованого титанового сплаву при іонному травленні дозволяє зробити висновок про те, що поверхня характеризується підвищеним вмістом вуглецю та кисню, які є поверхневими забрудниками. Після іонного травлення їх вміст різко знижується до глибини приблизно 50-100 Å, потім залишається практично постійним. По мірі

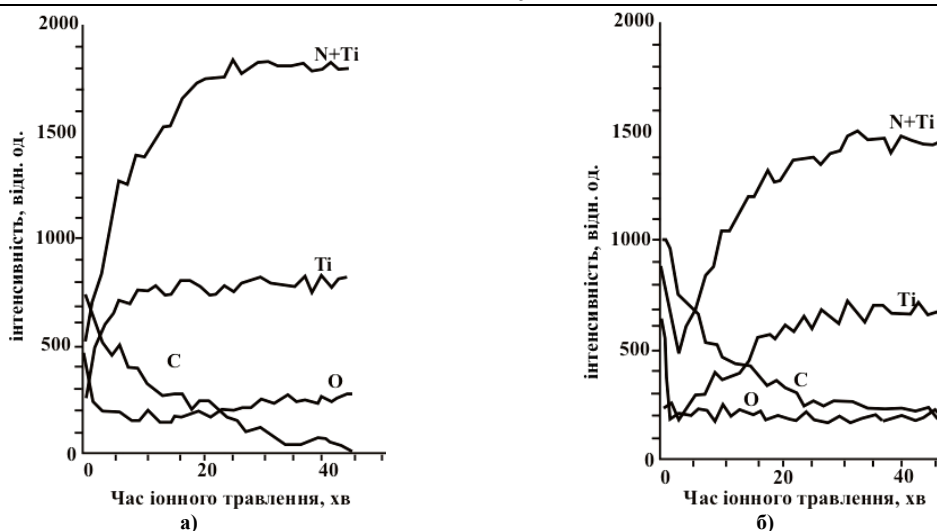


Рис. 3. Пошарова зміна вмісту компонентів за глибиною поверхнього шару азотованого титанового сплаву BT8: а) режим 1, б) режим 2

Про активність титанового сплаву стосовно кисню свідчить наступне: не дивлячись на те, що попередньо перед азотуванням травленням іонним бомбардуванням оксидні структури були видалені, вже після незначного знаходження на повітрі знову виявляються методом РФЕС сполуки кисню.

З поверхні титанового сплаву BT-8, азотованого за режимами 1, 2, 3, 4, було записано спектри остових рівнів Ti_{2p} , O_{1s} та N_{1s} . Враховуючи, що метод РФЕС дає інформацію про склад поверхні на глибині не більше 10 нм від поверхні, один зразок №7 було протравлено іонним бомбардуванням Ag^+ і знову записано спектр. На основі отриманих даних про склад елементів були розраховані енергії зв'язку електронів остова для атомів кисню, азоту та титану (табл. 1).

Таблиця 1

Енергія зв'язку електронів остова для азотованого титанового сплаву BT8

	Енергія зв'язку, eV			
	O_{1s}	N_{1s}	$Ti_{2p_{3/2}}$	$Ti_{2p_{1/2}}$
№7	530,5	397,4	459,1	464,6
№8	530,6	397,5	459,0	464,8
№10	530,2	397,1	458,7	464,7
№13	530,9	397,3	458,9	464,5

Складний рентгенівський фотоелектронний спектр, що відповідає іонізації $1s$ -електронів кисню (рис. 4) відповідає хімічному стану кисню в діоксиді титану TiO_2 із енергією зв'язку $E_c=530,5$ eV та $E_c=529,9$ eV. Інтенсивність піків кисню для різних режимів азотування титанового сплаву суттєво відрізняється: максимальне значення для режимів №1 та №2, проте після іонного очищення інтенсивність різко падає, а для режимів №3 і №4 - інтенсивність досить мала. Це свідчить про те, що оксидна плівка досить мала, і її присутність викликана адсорбцією атомів кисню під час азотування.

У РФЕС спектрах (рис. 5, 6) для режиму 1, до очищення іонним розпорощенням область Ti_{2p} відповідає трьом групам дублету. Пік I відповідає стану титану в нітриді TiN із енергією зв'язку $E_c=455,4$ eV та $E_c=461,1$ eV, пік II та III при високих енергіях зв'язку тісно пов'язані із $Me-O$ зв'язком в різних оксидних формах, що відповідає $Ti-O-N$ ($E_c=457,8$ eV та $E_c=463,5$ eV) та діоксидному стану титану ($E_c=459,1$ eV та $E_c=464,6$ eV).

Після іонного розпорощення Ag^+ , пік II пропадає, а пік III зменшує інтенсивність, проте після 2 годин травлення пік III повністю пропадає, що свідчить про усунення поверхнього оксиду. Це підтверджує, що при низькотемпературному азотуванні в тліючому розряді на поверхні вже при температурі $580^{\circ}C$ утворюється нітрид титану.

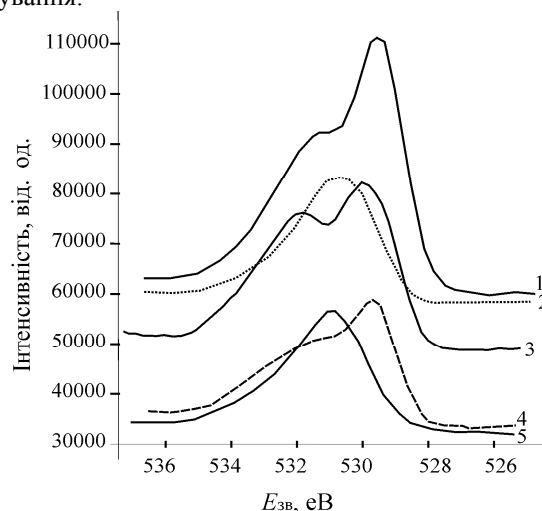


Рис. 4. Рентгеноелектронні спектри O_{1s} – електронів: 1 – режим №2; 2 – режим №1 після іонного травлення; 3 – режим №1; 4 – режим №3; 5 – режим №4

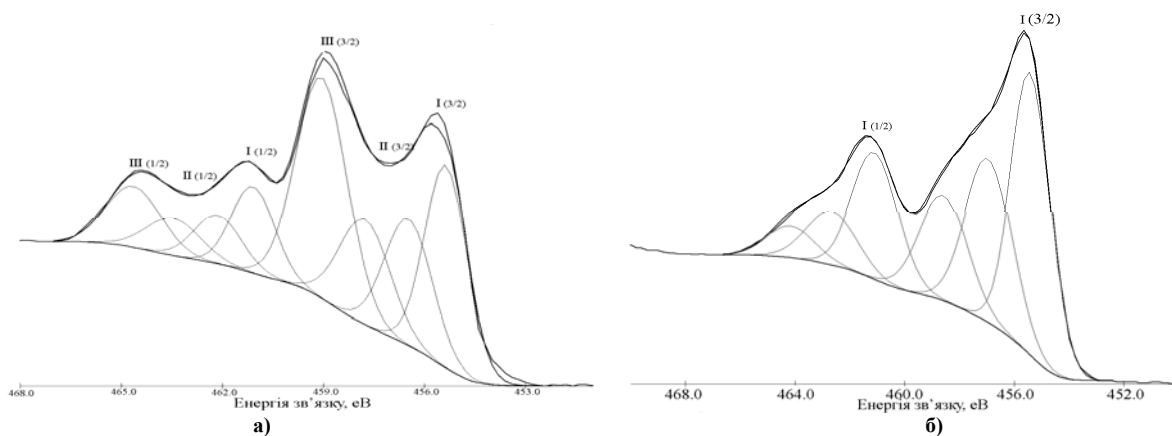


Рис. 5. Рентгеноелектронні спектри Ti_{2p} – електронів режиму №1, (а) – до іонного травлення, (б) – після іонного травлення. Пік I відповідає TiN , пік II – $Ti-O-N$, пік III – TiO_2

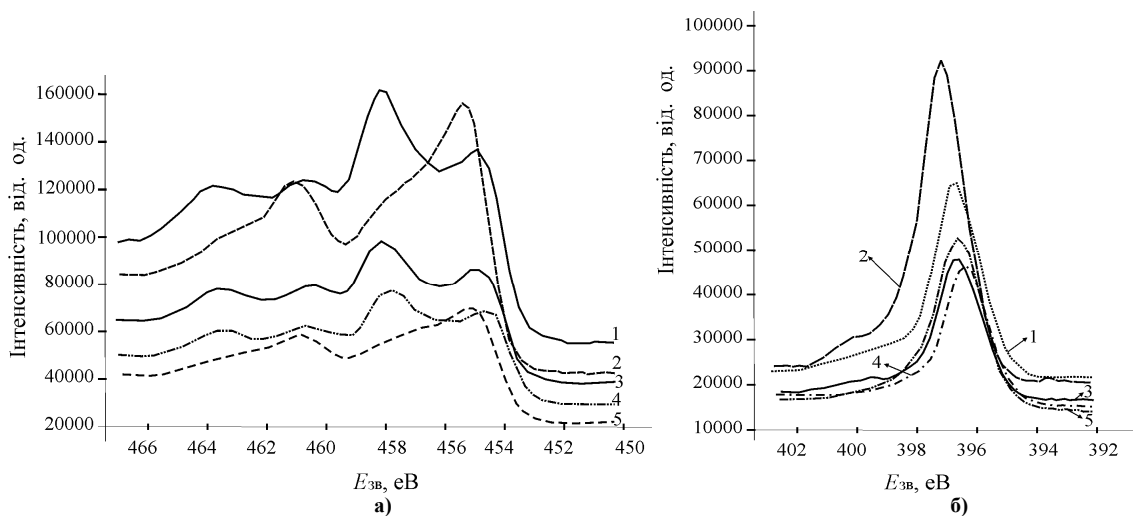


Рис. 6. а) Рентгеноелектронні спектри Ti_{2p} – електронів, б) Рентгеноелектронні спектри N_{1s} – електронів, де 1 – режим №2; 2 – режим №1 після іонного травлення; 3 – режим №1; 4 – режим №3; 5 – режим №4

Щодо спектру РФЕС N_{1s} , то він є дуже складним у точному визначенні хімічного складу та стану. На спектрі N_{1s} основний пік відповідає з'єднанню TiN для усіх азотованих зразків. Присутність на спектрах деяких менш інтенсивних піків пояснюється утворенням в незначній кількості оксинітридів титану $Ti-O-N$.

Висновки

Наведений матеріал свідчить про те, що низькотемпературне без водневе азотування в тліючому розряді є перспективною технологією, яка суттєво розширює область практичного застосування титанових сплавів, крім того зміна параметрів технологічного режиму дозволяє в значних межах керувати фазовим складом модифікованого поверхневого шару, а й відтак формувати поверхню деталей виготовлених з титанових сплавів відповідно до передумов подальшої експлуатації.

Література

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / [Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г., Елисеев Ю.С., Панайоти Т.А.] . – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 400с.
2. Горелик С.С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев : [Учеб. пособие для вузов] . – [3-е изд., доп. и перераб.] – М.: МИСИС, 1994. – 328 с.
3. Машовець Н.С. Вплив параметрів іонного азотування титану на фізико-механічні характеристики азотованого шару / Машовець Н.С. // Вісник двигунобудування. -2004. - №3. – С. 122-125.

Надійшла 16.1.2011 р.