

УДК 669.15.018.583

## ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ТИТАНУ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОЛІТНО-ПЛАЗМОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ<sup>1</sup>

*А. С. Кириченко*

*Національний технічний університет України  
„Київський Політехнічний Інститут”*

*Наведена електролітно-плазмова технологія для хіміко-термічної обробки сплавів на основі титану.*

*Представлены результаты исследования плазменно-химической обработки сплавов на основе титана.*

*Electrolyte-plasma technology is resulted for chemical of heat treatment alloys on the basis of titan.*

### **Вступ**

Аналіз літературних даних показав, що хіміко-термічна обробка сплавів на основі титану є проблематичною через газові домішки. До числа основних домішок титану, відносяться водень, кисень, азот і вуглець [1].

З діаграми стану титан — кисень (Ti-O) видно [2], що кисень підвищує температуру перетворення  $\alpha \rightarrow \beta$  та розширює температурну область існування  $\alpha$ -фази, тобто він є стабілізатором. При тривалому нагріванні титан окислюється і на його поверхні утворюється окалина. Колір шару окалини на титані, отриманої при температурі до 820°C - жовтий, від 820 до 950 °C - від жовтогарячого до коричневого. Окалина містить рутил. Утворення твердого розчину кисню в титані спотворює кристалічну решітку та значно змінює механічні властивості титану. Збільшення вмісту кисню приводить до різкого підвищення міцності, твердості і зниженню пластичності титану.

Азот, як і кисень, є елементом, що стабілізує  $\alpha$ -фазу, він розширює область існування цієї фази. При високотемпературній реакції титану з азотом утворюються нітриди титану, що легко розчиняються в металі. Вміст азоту у титані навіть у невеликих кількостях (як і кисню) сприяє утворенню

---

<sup>1</sup> - роботу виконано під керівництвом доктора технічних наук, професора Д.Ф.Чернеги, НТУУ «КПІ»

голчастої  $\alpha'$ -фази, та ще більшою мірою, чим кисень, знижує пластичність титану і підвищує його міцність і твердість.

Розчинність водню в  $\beta$ -Ті досягає 2 мас.% і перевершує розчинність водню в залізі в тисячі разів. З підвищенням температури здатність титану до утворення гідридів знижується, а розчинність водню при цьому зменшується. Водень в  $\beta$ -Ті дифундує значно повільніше, ніж в  $\alpha$ -Ті. Помітне поглинання водню титаном починається від температури 300°C.

При охолодженні титану, що поглинув водень у кількостях більших 0,002—0,003 мас.%, не весь водень зберігається у твердому розчині при кімнатній температурі. Частина водню в титані утворить гідрид. При повільному охолодженні гідриди виділяються у вигляді тонких пластинок, а при загартуванні — у вигляді дисперсних часток [3]. Підвищення вмісту водню до 0,01 мас.% не робить помітного впливу на твердість, міцність і пластичності титану. Пластичність титану зменшується з подальшим підвищенням концентрації водню.

Вуглець розчиняється в титані у незначних кількостях. Максимальна розчинність вуглецю в  $\alpha$ -Ті становить 0,28 мас.% при температурі близької до точки  $\alpha \rightarrow \beta$ -перетворення. Зі зниженням температури розчинність вуглецю в  $\alpha$ -Ті різко знижується. В  $\beta$ -Ті розчиняється близько 0,06 мас.% вуглецю, тобто майже в 5 разів менше, ніж в  $\alpha$ -Ті. Зниження пластичності і підвищення міцності, а також твердості металу мають місце при вмісті більше 0,1 - 0,2 мас.% С [4].

В інституті Електрозварювання ім. Е.О.Патона НАНУ було розроблено електролітно-плазмову технологію для хіміко-термічної обробки сплавів на основі титану. По цій технології було проведено аналіз на можливість використання електролітів, які не викликають ускладнень при утилізації, та активні при здійсненні плазменно-хімічного синтезу. Оптимальним варіантом є використання електроліту на основі водяного розчину азотних добрив, насамперед сульфату та нітрату амонію, а також карбаміду. Аміачна селітра ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) – високоефективне мінеральне добриво, що містить не менш 34,4% азоту. Молекулярна маса – 80,043. Важливе в практичному відношенні з'єднання - карбамід ( $\text{NH}_2$ )<sub>2</sub>CO утворюється при взаємодії діоксиду вуглецю з аміаком під тиском:  $\text{C}_2 + 2\text{NH}_3 = (\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ .

### **Методика проведення досліджень**

Дослідження хіміко-термічної обробки (ХТО) обробки здійснювали на плоских зразках, виготовлених з технічного титану марки ВТО-1. Хіміко-термічну обробку зразків проводили при температурі нагрівання поверхні до 850-900 °С з загальним часом обробки 1 хвилина.

Використовували електроліт наступного вмісту: 15 л – дистильованої води, 2 кг - карбаміду (carbamide), 250 мл - хлористого

амонію, 1 л - гліцерину, 600 мл - кальцинованої соди, 2600 мл - аміачної селітри.

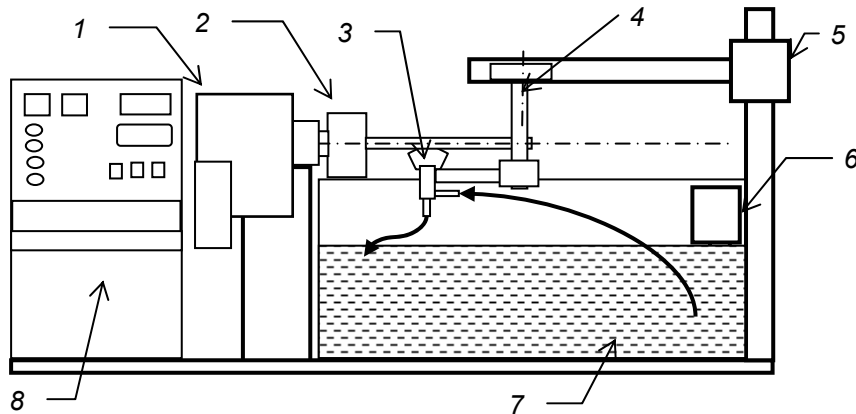


Рис. 1. Схема установки

Для термічної обробки зразків використовувалась установка для локального термодифузійного осадження покриттів (рис.1). Установка включає наступні основні складові частини: маніпулятор виробом (обертач) - 1; пристрій для кріплення виробів - 2; електролітний нагрівач - 3; держак для нагрівача - 4; траверса для переміщення нагрівача - 5; насос - 6; бак й система подачі електроліту - 7; перетворювач електричного струму-8. Установка комплектується також системою безконтактного контролю температури та автоматизованою системою керування нагрівом та маніпулятором.

Дослідження зразків з титану ВТО - 1 здійснювали на поперечних шліфах, які протравлювали в розчині: 1 частина - плавикової кислоти + 2 частини - азотної кислоти + 1 частина - гліцерину. Шліф зразка занурювали в розчин травлення 4 рази по 4 секунди. Фото шліфів виконували на оптичному мікроскопі Neophot - 32. Твердість вимірювали на мікротвердомірі Лесо М - 400, навантаження - 10 грам.

### Результати досліджень і їх обговорення

Дослідження показали, що на поверхні зразка з титану ВТО-1 отримане багатошарове покриття, рис. 2. Перший шар - нітрооксидної кераміки, має товщину 10-15 мкм і твердість до 8-9 ГПа, див. рис.3. Другий шар - має товщину до 100 мкм із твердістю від 9 до 2 ГПа. Можна відзначити, що твердість у другому шарі плавно знижується від максимальної до твердості основного металу (рис.3). Керамічний шар, товщиною 10-15 мкм має твердість 7,5-9 ГПа. Максимальна твердість отримана на границі між керамічним і модифікованим шаром > 9ГПа. Твердість модифікованого шару плавно знижується до твердості основи на глибину до 150 мкм.

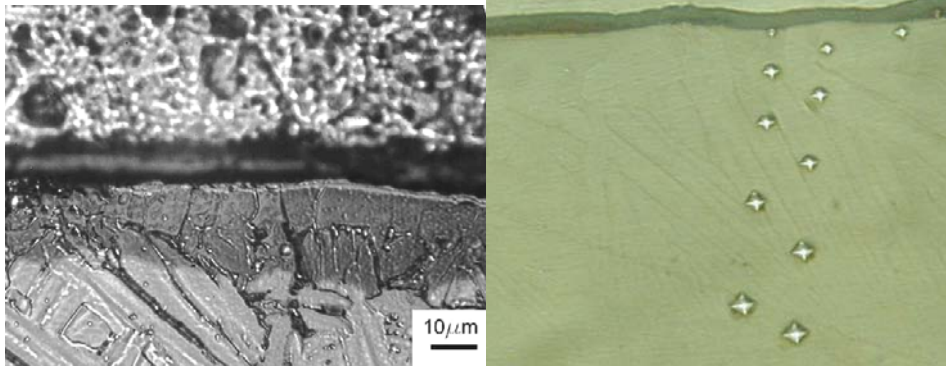


Рис. 2. Вид поверхнього шару зразка з титану ВТО-1 після ХТО в азотовмісткій плазмі



Рис. 3. Результати вимірювання твердості в поверхньому шарі зразка з титану ВТО-1 після ХТО в азотовмісткій плазмі

### Висновки

Отже, можна зробити висновок, що азотовмісткі електроліти (на основі добрив) забезпечують формування твердих покриттів на титанових зразках. Ця технологія дозволяє сполучити поверхневу термообробку з формуванням твердих покриттів. Отримані результати дозволяють говорити про можливість використання азотування, для підвищення корозійної стійкості та зносостійкості виробів з титанових сплавів.

### Література

1. Гуревич С.М., Замков В.Н., Блащук В.Е. и др. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов/– 2-е изд., доп. и перераб. – К.: Наук. Думка, 1986. – с. 240.
2. Корнилов И.И. Титан. – М.: Наука, 1975. – 305 с.
3. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Буханова А.А. Механические свойства титана и его сплавов. – М.: Металлургия, 1974. – 544 с.
4. Цвиккер У. Титан и его сплавы. – М.: Металлургия, 1979. – 512 с.