

M. N. Bobina, I. I. Smokovich, O. N. Solovar, T. V. Loskutova

Diffusion saturation of VT6 alloy by nitrogen, carbon, oxygen

Summary

The possibility of a nitride, oxide-karbonitride and oxide coatings on titanium VT6 alloy by electron-beam nitriding and cementation. Saturation was performed under the conditions of reduced pressure at the temperature 850 – 1050 °C for 2 – 10 hours. Phase and chemical composition of the obtained coatings, their thickness and microhardness were defined.

УДК 621.785

## *Формування структури в сплавах заліза з хромом та титаном при лазерній хіміко-термічній обробці*

Н. В. Франчік,

С. І. Сидоренко, доктор фізико-математичних наук, професор

Є. В. Іващенко, кандидат технічних наук

Національний технічний університет України "КПІ", Київ

*Наведено результати досліджень формування приповерхневих шарів в сплавах заліза з хромом та титаном при лазерній хіміко-термічній обробці в реакційноактивних середовищах різного типу для забезпечення покращених механічних властивостей (твердості, зносостійкості та корозійної стійкості).*

Перспективним методом зміцнення поверхні є високоенергетична обробка, яка може мати певні переваги порівняно з традиційними методами. Таким видом високоенергетичного поверхневого зміцнення є лазерна обробка [1]. Висока густина потужності енергії лазерного випромінювання дає можливість не тільки значно підвищити продуктивність і технологічність процесу, але і отримати нові властивості приповерхневих шарів [2].

Метою дослідження було встановлення закономірностей формування структури і фазового складу приповерхневого шару при лазерній та комбінованій хіміко-термічній обробці сплавів заліза з хромом та титаном (вмістом 0,70 – 1,91 %, мас. частка), з метою забезпечення комплексу покращених механічних властивостей (твердості, зносостійкості та корозійної стійкості).

В роботі використовували мікроструктурний, мікродюрометричний, рентгеноструктурний, мікрорентгеноспектральний аналізи, растрову та електронну мікроскопію. Для дослідження обрані модельні сплави заліза з хромом (від 1,11 – до 1,91 %), заліза з титаном (від 0,7 – до 1,02 %) та зразки технічного заліза (табл. 1). Сплави виготовляли в лабораторній електродуговій печі з вольфрамовим електродом в атмосфері аргону.

Таблиця 1

Хімічний склад матеріалів дослідження

Зразки	Вміст хімічних елементів, % (мас. частка)							
	Fe	C	Mn	P	S	Cr	Ti	Cu
Технічне залізо (Fe-армко)	99,77	0,02	0,035	0,015	0,02	0,14	-	-
Fe + 1,11 % Cr	98,87	-	-	-	-	1,11	-	0,018
Fe + 1,50 % Cr	98,48	-	-	-	-	1,50	-	0,016
Fe + 1,91 % Cr	98,07	-	-	-	-	1,91	-	0,017
Fe + 0,70 % Ti	99,28	-	-	-	-	-	0,70	0,018
Fe + 1,02 % Ti	98,96	-	-	-	-	-	1,02	0,017

Імпульсну лазерну обробку здійснювали на установці “КВАНТ-16”. Довжина хвилі випромінювання складала  $\lambda = 1,06$  мкм, енергія  $E = 20 - 30$  Дж, тривалість імпульсу  $\tau = 4 - 6$  мс, густина потужності  $W_p = 6,5 - 8,3$  ГВт/м<sup>2</sup>.

Для лазерної хіміко-термічної обробки були розроблені та виготовлені камери, в які подавали компоненти насичувального газового середовища (азот, пропан-бутан та їх суміші), склад яких представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики насичуючих середовищ

Насичуюче середовище	Склад насичуючих середовищ	
	Газові середовища	
Суміш вуглеводнів	Метан 0,77 %; етан і етилен 2,66 %; пропан і пропилен 46,87 %; бутанів і бутадіонів 49,70 %.	
Азот	N <sub>2</sub> 99,996 об. %; H <sub>2</sub> 0,001 об. %; O <sub>2</sub> 0,001 об. %.	
	Порошкоподібні обмазки	
TiC	Ti 79,603 %; Fe 0,347 %; C 20,05 %.	
TiN	Ti 77,05 %; Fe 0,3 %; C 22,65 %.	

Для визначення впливу комбінованої (попередньої та наступної) хіміко-термічної обробки проводили пічне азотування в насичувальному середовищі 80 об. % Ar + 20 об. % NH<sub>3</sub> в спеціальній камері, встановленій в стандартну піч типу СШОЛ, при температурі  $T = 853 \pm 3$  К (580 °С) протягом  $t = 2$  годин.

В дослідженні отримано 4 групи результатів.

1. Взаємодія карбідо- та нітридоутворюючих елементів хромом та титану з елементами проникнення азотом та вуглецем з насичувальних середовищ різного типу за умов високих (вище температур плавлення  $\sim 3000$  °С) температур, великих швидкостей нагрівання ( $V_{нар.} \sim 5,5 \cdot 10^5$  °С/с) та охолодження ( $V_{охол.} \sim 10^4 - 10^5$  °С/с), високих концентраційних і температурних градієнтів обумовлює формування складних польових високонапружених станів, дисперсних нітридних, карбонітридних та карбідних фаз проникнення, нерівноважних дискретно-неоднорідних структур (подібних до коміркових), що забезпечує підвищення зносостійкості (в 1,5 – 2,0 рази порівняно із зносостійкістю матеріалу у вихідному стані), твердості оброблених матеріалів (від 5 до 11 ГПа).

Умовно цей процес можна представити такими стадіями: при дії лазерного випромінювання, частина матеріалу зони лазерної дії (ЗЛД) розплавляється. При

взаємодії рідкого матеріалу з матрицею виникають градієнти механічних напружень під дією градієнтів температури. На поверхні матеріалу під дією лазерного променя виникає хмара іонізованого газу – плазми і відбувається насичення рідкого металу іонами вуглецю та азоту. В зоні оплавлення відбувається рух нерівномірно нагрітої рідини в бік нижчої температури (ефект Марангоні) [3].

При охолодженні відбувається формування областей з різним хімічним складом, збагачених та збіднених титаном, вуглецем, азотом. Так як коефіцієнти термічного розширення областей з різним хімічним складом різні, то виникають термічні напруження в цих областях при надшвидкому охолодженні, які призводять до виникнення та руху дислокацій. При збільшенні кількості дислокацій відбувається їх взаємне гальмування. На скупченнях дислокацій, що утворилися, відбувається формуванням дисперсних частинок карбонітридів легуючих елементів та заліза, що і спостерігається на електронній мікрофотографії структури зони оплавлення. Така структура і призводить до збільшення мікротвердості приповерхневих шарів.

З метою підвищення мікротвердості ЗЛД за рахунок збільшення концентрації карбідоутворюючих елементів та елементів проникнення в приповерхневому шарі проводилася обробка з твердих обмазок.

Досліджували вплив хімічного складу легуючих твердих обмазок на процес формування структури, фазового складу та властивостей приповерхневих шарів в зоні лазерної дії в сплавах заліза.

2. Вперше встановлено, що лазерне легування сплаву Fe + 1,91 % Cr обмазкою TiC в умовах ударної дії лазерного імпульсу призводить до її розплавлення, до прискореного масоперенесення атомів титану, заліза та вуглецю під дією високих термічних та концентраційних градієнтів, внаслідок чого формуються локальні області з евтектичною структурою (Fe – TiC), що відкриває перспективу виробництва матеріалів з високою зносостійкістю.

3. Розроблено структурно-логічну діаграму будови зони лазерного легування сплавів заліза з карбідоутворюючими елементами, яка показує, що формування структури визначається фізико-технологічними параметрами обробки за чотирма моделями:

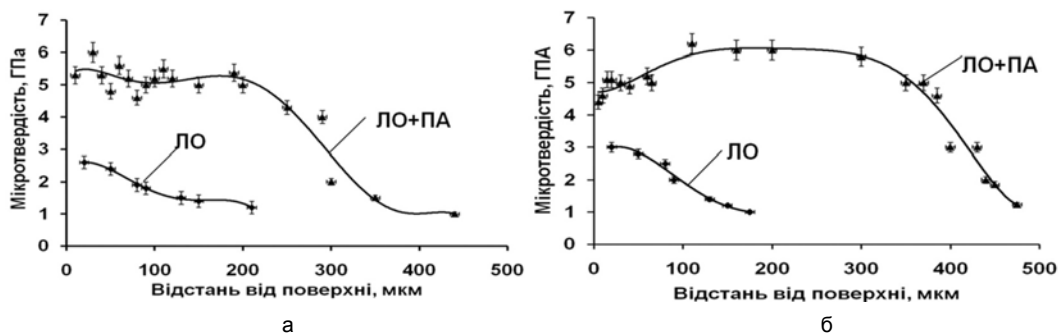
1) при малій товщині обмазки ( $h = 5 - 10$  мкм) і  $W_p \sim 5$  ГВт/м<sup>2</sup> формується дискретно-неоднорідна структура, основу якої складають області пересичених твердих розчинів та скупчення дислокацій з виділеннями на них дисперсних карбідів титану;

2) при збільшенні товщини обмазки ( $h = 10 - 30$  мкм) і  $W_p \sim 6,5$  ГВт/м<sup>2</sup> формується структура евтектики та області пересичених твердих розчинів з дислокаційними скупченнями з дисперсними виділеннями TiC;

3) при більшій товщині ( $h = 30 - 100$  мкм) обмазки і  $W_p \sim 4$  ГВт/м<sup>2</sup> в зоні оплавлення кристалізуються масивні частинки ( $\sim 10 - 20$  мкм) карбіду титану з високою мікротвердістю  $\sim 20$  ГПа;

4) збільшення густини потужності  $W_p \sim 8,3$  ГВт/м<sup>2</sup> при незмінній товщині обмазки призводить до збільшення глибини зони оплавлення ( $\sim 700$  мкм) і зменшення мікротвердості до 5 ГПа.

4. Двостадійний комбінований процес – лазерна обробка (ЛО) та наступне пічне азотування (ПА) – забезпечує формування азотованого шару в межах зони лазерної дії, в матриці та нітридних фаз ( $\epsilon + \gamma'$ ) на поверхні і підвищення (у порівнянні з лазерною обробкою без азотування) мікротвердості приповерхневих шарів сплаву Fe + Cr до 5,5 ГПа (рисунок а) та сплаву Fe + Ti до 6 ГПа (рисунок б). Відмічено збільшення глибини дифузійної зони в сплав заліза з Cr на 100 мкм, що пов'язане з прискоренням дифузії азоту в зоні ЛО.



Зміна мікротвердості сплавів за глибиною зони лазерної дії. а – Fe + 1,5 % Cr, б – Fe + 0,7 % Ti.

**Висновки** На основі дослідження особливостей формування структури, фазового складу та властивостей приповерхневих зон сплавів заліза з титаном та хромом, що формуються при лазерній та комбінованій лазерній хіміко-термічній обробці, розвинуто уявлення про розвиток процесів формування нерівноважних дискретно-неоднорідних структур, дисперсних нітридних, карбонітридних та карбідних фаз проникнення.

Визначено ряд перспективних для промисловості режимів обробки, які забезпечують підвищення твердості та зносостійкості. Показано, що лазерне легування сплаву Fe + 1,91 % Cr обмазкою TiC відкриває перспективу виробництва матеріалів з високою зносостійкістю.

## Література

1. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
2. Коваленко В.С., Головкин Л.Ф., Меркулов Г.В. Упрочнение деталей лучом лазера. – Киев: Техника, 1981. – 131 с.
3. Барьяхтар В.Г., Виницкий В.Л. Физика твердого тела. Энциклопедический словарь. Т. 2. – Киев: Наук. думка, 1998. – 648 с.

Одержано 02.02.11

Н. В. Франчик, С. И. Сидоренко, Е. В. Иващенко

### Формирование структуры в сплавах железа с хромом и титаном при лазерной химико-термической обработке

#### Резюме

Представлены результаты исследований формирования приповерхностных слоев в сплавах железа с хромом и титаном при лазерной химико-термической обработке в реакционноактивных средах различного типа для достижения улучшенных механических свойств (твердости, износостойкости и коррозионной стойкости).

N. V. Franchik, S. I. Sidorenko, Ye. V. Ivashchenko

### Structure formation in iron alloys with Cr and Ti during laser chemical and heat treatment

#### Summary

Result of research of formation near-surface layers in iron alloys with Cr and Ti at laser chemical and heat treatment in reaction active environments of different types for providing better mechanical properties (hardness, wear-resistance and corrosion resistance) are presented.