

УДК 539.2+537.2

Л.О. Капелюх<sup>1</sup>, П.В. Дацко<sup>2</sup>

## Тонкошарові карбохромові покриття на сталях

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ  
<sup>2</sup>Прикарпатський університет ім. В. Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ 79000

На основі експериментальних результатів розглядається можливий механізм формування на поверхні сталі шару карбохромового покриття. Зроблена спроба його аналітичного описання.

**Ключові слова:** дифузія, карбід хрому, покриття.

*Стаття поступила до редакції 7.05.2002; прийнята до друку 26.10.2002.*

Одним із ефективних методів підвищення експлуатаційних властивостей (корозійно- і зносостійкість) деталей, машин і обладнання із сплавів на основі заліза є формування на їх поверхні карбідних покриттів [1,2]. Однак ефективно карбохромові покриття методом дифузійного насичення з поверхні формується лише на високовуглецевих сталях, що обмежує цей метод для одержання таких покриттів на низьковуглецевих сталях.

В роботі досліджувалась кінетика формування карбохромового покриття на сталі марки ВСт.3 шляхом попереднього її поверхневого науглецювання з парогазового середовища [3] з наступним хромуванням в порошкових сумішах на основі подрібненого ферохрому марки ФХ00.

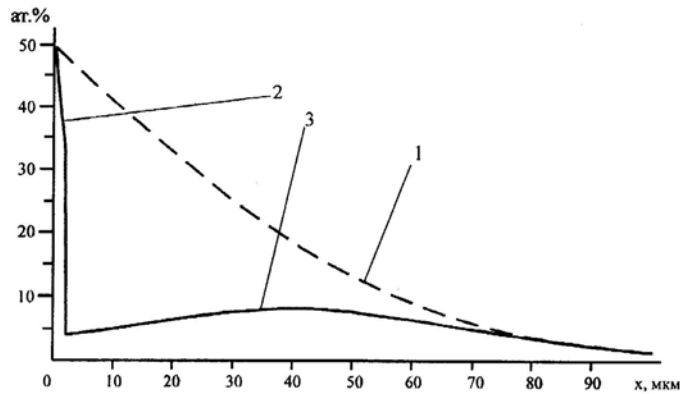
Показано, що товщина карбохромового шару не залежить від глибини науглецьованої зони сталі, але вона суттєво впливає на формування структури приповерхневої (так званої перехідної) зони. Надлишок концентрації вуглецю в поверхневому шарі формує різку границю між карбідним шаром та основою (рис. 1). Ця границя є мінімальною, або зовсім зникає

при певних режимах ведення процесу науглецювання та наступного хромування, а саме, при температурі науглецювання 850-950°C в режимі термоцикування на протязі 1,5 годин та наступного хромування при 1250° С протягом однієї години.

Механізм росту карбохромового шару нам уявляється наступним чином. При нагріванні вуглецевої сталі в середовищі активних атомів хрому на її поверхні протікає хімічна реакція взаємодії хрому з вуглецем і формується при цьому кристалічна гратка карбіду хрому. Сукупність таких граток формує зерна карбіду хрому по усій поверхні сталі, на границях яких зосереджуються атоми заліза, які і утворюють коридори проникнення атомів хрому під карбідний шар, сформований на поверхні, поскільки кристалічна гратка карбідів хрому ( $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$ ) є непроникною для атомів хрому. При досягненні концентрації хрому стехіометричного складу, протікає реакція утворення карбіду хрому, але вже під поверхневим шаром карбіду хрому, і формування чергового карбідного зерна, відтісняючи атоми заліза на границі зерен. Подальша витримка в хромуючому середовищі



Рис. 1. Карбохромовий шар на сталі ВСт.3 з різко вираженою підшаровою зоною.



**Рис. 2.** Розподіл концентрації  $C(x)$  атомів хрому на початкових стадіях формування карбідного шару при  $1250^{\circ}\text{C}$  на протязі часу, який необхідний для утворення суцільного тонкого шару карбідної зони ( $t \sim 3 \cdot 10^2$  с):

- 1 – розподіл концентрації атомів хрому при вільній дифузії без утворення карбідів;
- 2 – концентрація хрому у зерні в момент часу, коли зерна дотикаються один до одного;
- 3 – концентрація хрому під тонким карбідним шаром.

ущільнює карбідний шар завдяки проникненню атомів хрому з поверхні, а також атомів вуглецю з глибини до поверхні. Отже, ріст карбохромового шару приростає зі сторони підшарової зони і практично припиняється із зникненням міжзеренних коридорів проникнення атомів хрому, що підтверджується експериментальними результатами досліджень.

Розглянемо аналітично кінетику дифузійного карбідного шару на сталі при температурі насичення хромом  $1250^{\circ}\text{C}$ . При цьому застосуємо модель росту сферичних зерен нової фази, яка була запропонована авторами роботи [4]. Згідно цієї моделі, у перенасиченому розчині відбувається зародження і ріст сферичного центру нової фази ( $C_{н.ф.}$ ). Причому, концентрація речовини в центрі нової фази ( $C_{н.ф.}$ ) більша ніж у вихідній  $C_{поч.}$ . Враховуючи те, що атоми хрому із залізом не утворюють хімічної сполуки (нова фаза є результат взаємодії хрому з вуглецем, який розчинений в залізі), використаємо спрощений варіант другого рівняння Фіка у вигляді:

$$\frac{d^2C}{dr^2} = \frac{2}{r} \frac{dC}{dr} = 0, \quad (1)$$

де  $r$  – змінний радіус при умові, що початок координат співпадає з центром утворення нової фази  $C_{г.м.}C_{н.}$ . Якщо біля поверхні зерна фази ( $r=\rho$ ) зберігається концентрація  $C_p$ , а на великій відстані від її центру  $C_{поч.}$ , то розв'язок рівняння (1) залишається у вигляді

$$C(r, t) = C_{поч.} + (C_p - C_{поч.}) \frac{\rho t}{r}, \quad (2)$$

де  $\rho$  – віддаль до поверхні зерна нової фази.

На поверхні зерна фази має місце масовий баланс. Кількість речовини, яка підводиться до карбідного центру за час  $dt$ , рівна кількості речовини, що поступає з вихідної фази до поверхні

$$(C_{н.ф.} - C_p) d\rho = -D \left( \frac{\partial C}{\partial r} \right)_{r=\rho} dt, \quad (3)$$

де  $D$  – коефіцієнт дифузії атомів хрому в залізі. Підставивши (3) у вираз (1) отримаємо:

$$(C_{н.ф.} - C_p) \frac{d\rho}{D dt} = \frac{C_{поч.} - C_p}{\rho(t)}. \quad (4)$$

Величина  $C_{поч.}$  (концентрація на великій відстані від межі нової фази) може змінюватись в результаті поступлення речовини із зовнішньої поверхні (позначимо її площиною  $X=0$ ). Звідси витікає, що концентрація за межами центру фази залежить від  $X$  (відстань до поверхні) і  $t$  (часу). З врахуванням цієї умови розв'язок рівняння (4) можемо записати у вигляді:

$$\rho(x, t) = \sqrt{2D \int_0^t \frac{C(x, t) - C_p}{C_{н.ф.} - C_p} dt}. \quad (5)$$

Цей рівняння розв'язується методом послідовних наближень. Розв'язок для першого наближення, в якому враховуються центри формування карбідної фази, автори роботи (4) представляють наступним чином:

$$C_1 = \varphi_0(u) + \beta \cdot t^{3/2} \varphi_1(u) + \dots,$$

де

$$\beta = 4\sqrt{2} \frac{C_{пов.} - C_p}{\text{erf}(\beta_0)} A. \quad (6)$$

Цей вираз описує розподіл концентрацій атомів хрому і вуглецю при невеликих  $t$  у приповерхневих шарах при дифузійному хромованні вуглецевої сталі.

На ранніх стадіях формування карбідної фази (утворення тонкого карбідного шару товщиною, яка відповідає розміру його зерна  $\sim 4$  мкм), теоретично концентраційний розподіл  $C(x)$  матиме вигляд зображений на рис. 2, що добре корелює з даними експериментальних результатів дослідження.

- [1] Г.Н. Дубинин. *Диффузионное хромирование сплавов*. Машиностроение, М. 451 с. (1964).
- [2] В.Ф. Лоскутов и др. *Диффузионные карбидные покрытия*. Техніка, К. 168 с. (1991).
- [3] П.И. Мельник *Диффузионное насыщение железа и твердофазные превращения в сплавах*. Металургія, М. 129 с. (1993).
- [4] Ю.Н. Айропетян, Н.С. Косенко, Б.Я. Любов. К теории диффузии в двухфазной системе // *Известия АН СССР. Металлы*, 2, сс. 200-206 (1971).

L.O. Kapelyukh<sup>1</sup>, P.V. Datsco<sup>2</sup>

### **Thin-Layer Carbon-Chrome Covers on Steels**

<sup>1</sup>*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Karpatska Str., 15, Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine*

<sup>2</sup>*'Vasyl Stefanyk' Prekarpathian University  
Shevchenko str., 57, Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine*

On the bases of experimental results the possible formation mechanism of carbon-chrome covers on the steel surface is shown. Is present their analytic description.