

Impact of chromium silicide coatings on the corrosion of carbon steel 20

Karolina YANTSEVYCH^{1*}, Inna POGREBOVA²

¹ E.O. Paton Electric Welding Institute, Kazymyra Malevycha St. 11, 03150 Kyiv, Ukraine

² Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Peremohy Ave. 37, 03056 Kyiv, Ukraine

* Corresponding author. Tel. +38 044 2009687; e-mail: ycarolin@ukr.net

Received May 30, 2021; accepted June 30, 2021; available on-line December 1, 2021
<https://doi.org/10.30970/cma14.0414>

The structure and physicochemical properties of chromium silicide coatings applied to carbon steel 20 have been studied. The diffusion coatings were obtained by the gas method. Corrosion studies showed that application of the coatings led to increased corrosion resistance in various industrially important aggressive media (3 % NaCl, solutions H₂SO₄, HCl, H₃PO₄, CH₃COOH, HNO₃).

Steel 20 / Chromium silicide coating / Phase composition / Corrosion

Вплив хромосиліцидних покриттів на корозію вуглецевої сталі 20

Кароліна ЯНЦЕВИЧ^{1*}, Інна ПОГРЕБОВА²

¹ Інститут електрозварювання ім. Є.О Патона НАН України,
вул. Казимира Малевича 11, 03150 Київ, Україна

² Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського,
проспект Перемоги 37, корпус 4, 03056 Київ, Україна

* Corresponding author. Tel. +38 044 2009687; e-mail: ycarolin@ukr.net

Досліджено будову та фізико-хімічні властивості хромосиліцидних дифузійних покриттів, нанесених на вуглецеву сталь 20, отриманих газовим методом. Проведені корозійні дослідження показали, що нанесення хромосиліцидних покриттів на сталь 20 призводить до підвищення корозійної стійкості у різних промислово важливих агресивних середовищах (3 % NaCl, розчинах H₂SO₄, HCl, H₃PO₄, CH₃COOH, HNO₃).

Сталь 20 / Хромосиліцидне покриття / Фазовий склад / Корозія

Вступ

При вирішенні проблеми підвищення довговічності та надійності деталей машин, інструментів, оснастки велике значення мають пошук і розробка нових захисних покриттів. Серед відомих типів карбідних покриттів заслуговують уваги дифузійні шари на основі карбідів хрому

[1,2]. Літературні джерела вказують, що дифузійні шари на основі карбідів перехідних металів володіють високою жаростійкістю, зносостійкістю та корозійною стійкістю у різних агресивних середовищах. Значний інтерес викликають дослідження властивостей та закономірностей формування дифузійних шарів, утворених декількома елементами (хромом і титаном, хромом

та алюмінієм, хромом і кремнієм), що дозволяють отримати більш високі експлуатаційні характеристики в порівнянні з насиченням одним елементом [2-4]. Одночасне насичення сталей хромом та кремнієм проводять з метою підвищення їхньої твердості, зносостійкості, жаростійкості та корозійної стійкості у різних агресивних середовищах. Літературні джерела по впливу процесу хромосиліцювання на корозійну стійкість вуглецевих сталей носять вибірковий та неоднозначний характер [5]. Метою роботи було отримання на поверхні вуглецевої сталі 20 комплексних дифузійних покриттів на основі хрому та кремнію, дослідження їхнього фазового, хімічного складу, корозійної стійкості у різних агресивних середовищах.

Методика експерименту

Дифузійні хромосиліцидні покриття наносили на сталь 20 газовим методом у спеціально розробленій на кафедрі металознавства та термічної обробки НТУУ «КПІ» установці, яка мала спеціальну реакційну камеру нової конструкції [6]. Процес проводили впродовж 6 годин у замкнутому реакційному середовищі при тиску активної газової фази (10^4 Па) та температурі 1323 К. Рентгеноструктурним пошаровим аналізом встановлювали фазовий склад покриттів перед та після проведення їхнього

високотемпературного окиснення. Дослідження проводили на дифрактометрі ДРОН-УМ1 на монохроматичному $\text{Cu } K_{\alpha}$ випромінюванні. Корозійні випробування проводили масометричним методом за стандартною методикою при температурі 25°C в агресивних середовищах: 3 % NaCl, 10 % H_2SO_4 , 10 % HCl, 10 % H_3PO_4 , 10 % CH_3COOH , 10 % HNO_3 . За даними масометричних досліджень розраховували масометричний показник корозії $K_M = \Delta m / (S\tau)$, $\text{г}/(\text{м}^2\text{год})$, де Δm – зміна маси зразків з поверхні (S) за час випробування (τ). Електрохімічну поведінку сталі та сталі з покриттям досліджували методом зняття поляризаційних кривих на потенціостаті ПІ-50-1.1 Як допоміжний електрод використовували платину, порівняльний – хлорсрібний та сульфатно-закисний.

Результати та обговорення

Рентгеноструктурним пошаровим аналізом було встановлено, що на поверхні сталі 20 дифузійний шар складається з двох зон – зовнішньої $(10-15) \cdot 10^{-6}$ м, яка містить карбіди хрому Cr_{23}C_6 і Cr_7C_3 , та внутрішньої $(60-80) \cdot 10^{-6}$ м, яка є твердим розчином Si та Cr в $\alpha\text{-Fe}$ (рис. 1). Товщина покриттів на сталі 20 становила $100 \cdot 10^{-6}$ м. На [рисунку 2](#) приведено мікроструктуру хромосиліцидного покриття на сталі 20.

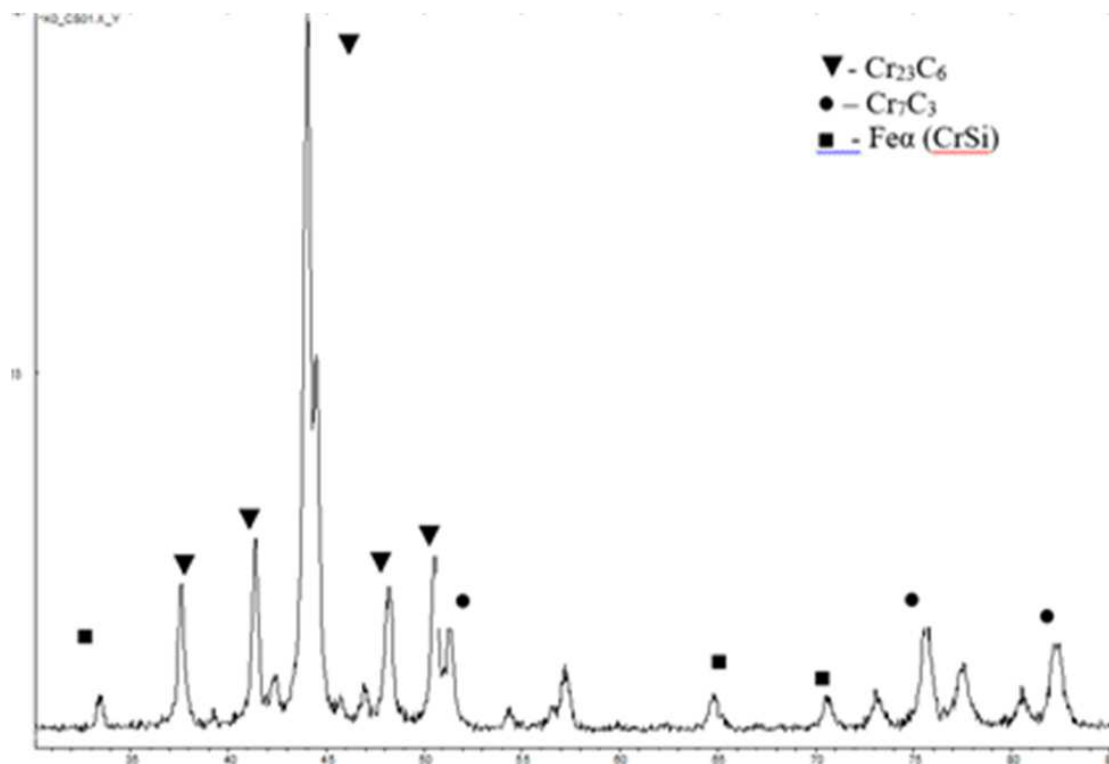


Рис. 1 Дифрактограма хромосиліцидкованої сталі 20.

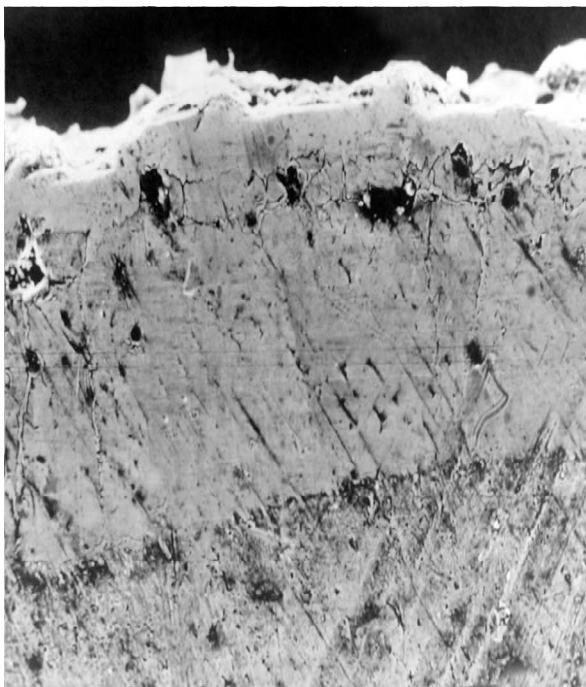


Рис. 2 Мікроструктура хромосиліцидного покриття на сталі 20; $\times 500$.

Проведені дослідження показали, що комплексне насичення сталі 20 кремнієм та хромом приводить до зменшення швидкості її корозії у досліджених розчинах. Корозійно-електрохімічна поведінка сталі та сталі з покриттям залежить від природи агресивного середовища, часу експозиції зразків у розчині (таблиця 1). Так, нанесення хромосиліцидного покриття призводить до зменшення корозії сталі у розчинах 10 % H_2SO_4 у 2,2 рази та забезпечує ступінь захисту 52,3 %. Приблизно такими ж захисними діями володіють хромосиліцидні покриття у розчинах 10 % соляної кислоти. При переході до 10 % розчинів фосфатної та ацетатної кислоти корозійна стійкість

підвищується. Найбільшою стійкістю, порівняно до стійкості сталі 12Х18Н9Т, володіють хромосиліцидні покриття у розчині 10 % нітратної кислоти.

Корозійні дослідження сталі з хромосиліцидними покриттями залежать від часу експозиції зразків у розчинах. За першу добу корозійних випробувань хромосиліцидні покриття не впливають на корозію сталі у розчинах сульфатної, хлоридної, фосфатної кислот. Це пов'язано з гальмуванням формування захисних плівок на поверхні сталі. Збільшення часу експозиції зразків у розчинах електролітів призводить до підвищення захисної дії покриттів.

Проведені електрохімічні дослідження показали, що корозія сталі 20 та сталі з дифузійним покриттям у 10 % розчинах сульфатної та хлоридної кислот протікає з водневою деполаризацією, і основними реакціями такого процесу є виділення водню та розчинення заліза у вигляді іонів Fe^{2+} . Процес виділення водню на сталі 20 та сталі з покриттям у широкій області потенціалів описується рівнянням Тафеля. У розчинах фосфатної, ацетатної кислот та у 3 % $NaCl$ корозія протікає з воднево-кисневою деполаризацією. В 10 % розчині нітратної кислоти катодним процесом є реакція відновлення її молекул та аніонів, а анодним – розчинення заліза у вигляді іонів Fe^{2+} . Електрохімічні характеристики сталі 20 та сталі з хромосиліцидним покриттям у розчинах кислот приведені в таблиці 2.

Проведені в роботі корозійні дослідження показали, що хромосиліцидні покриття нанесені на вуглецеву сталь 20 менш стійкі у розчинах 10 % хлоридної та сульфатної кислоти, а найбільш стійкі – у розчинах нітратної кислоти. Встановлено, що нанесення хромосиліцидних покриттів на сталь 20 підвищує її корозійну стійкість у досліджених розчинах у 2-28 разів. Хромосиліцидні покриття можна рекомендувати для захисту деталей машин, які працюють у різних агресивних середовищах.

Таблиця 1 Корозійна стійкість сталі 20 та сталі 20 з хромосиліцидними покриттями у різних агресивних середовищах.

Середовище	K_m , г/м ² год (сталь)	K_m , г/м ² год (покриття)	γ	Z, %
10 % H_2SO_4 (I)	27,2	12,31	2,2	54,5
10 % HCl (I)	15,1	7,13	2,1	53,8
10 % H_3PO_4 (II)	5,4	0,62	8,8	88,2
10 % CH_3COOH (II)	2,0	0,45	4,5	77,7
10 % HNO_3 (I)	51,2	1,84	27,8	96,4
3 % $NaCl$ (II)	0,11	0,032	3,5	71,5

$$\gamma = \frac{K_m(\text{сталі})}{K_m(\text{покриття})}; Z = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \cdot 100\% \text{ – ступінь захисту.}$$

Час корозійних випробувань (доба): I – 24; II – 72.

Таблиця 2 Результати електрохімічних досліджень сталі 20 та сталі 20 з хромосиліцидним покриттям у розчинах кислот.

Електрохімічні характеристики	10 % H ₂ SO ₄		10 % HNO ₃	
	Сталь 20	Сталь 20 + покриття	Сталь 20	Сталь 20 + покриття
$E_{c (н.в.с.)}, В$	-0,202	-0,22	-0,12	0,12
$i_c, А/см^2$	$2,06 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$3,16 \cdot 10^{-5}$

$E_{c (н.в.с.)}$ – потенціал корозії, В; i_c – струм корозії, А/см²

Літературні посилання

- [1] Г.Н. Дубинин, *Диффузионное хромирование сплавов*, Машиностроение, М., 1984. 452 с.
- [2] В.Ф. Лоскутов, В.Г. Хижняк, І.С. Погребова, Р.М. Горбатюк, І.Й. Бочар, *Карбідні покриття на сталях і твердих сплавах*, Лілея, Тернопіль, 1998, 144 с.
- [3] Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов, *Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО*, ФТИ, Минск, 2001, 148 с.
- [4] Т.В. Лоскутова, В.І. Сігова, В.Г. Хижняк, В.Ф. Лоскутов, *Комплексні карбідні покриття на металах і сплавах*, Суми, 2009, 190 с.
- [5] Г.В. Земсков, Р.Л. Коган, *Многокомпонентное диффузионное насыщение металлов и сплавов*, Металлургия, М., 1978, 208 с.
- [6] В.Ф. Лоскутов, І.С. Погребова, Т.В. Лоскутова, К.В. Янцевич, Ю.В. Нестеренко, *Спосіб нанесення карбідних покриттів*. Патент України на винахід 50193 А. Власник НТУУ «КПІ», Бюл. № 10.