

КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ, НАПЛАВЛЕНОГО TiG СПОСОБОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ГНУЧКОГО ШНУРА TeroCote 7888T

Б.В. Стефанів, Л.І. Ниркова, А.В. Ларіонов, С.О. Осадчук

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Збільшення корозійної стійкості бурових доліт з захисними покриттями є актуальною проблемою в Україні. Для бурового інструменту основними показниками фізико-механічних властивостей зносостійких покриттів є абразивна зносостійкість, корозійна стійкість та твердість (мікротвердість). Це дозволяє ефективно протистояти зношуванню робочих органів лопатей та корпусу доліт в умовах знакозмінних та ударних навантажень, гідроабразивного зносу, корозії, ерозії, тощо. Досліджено, що рівномірне розподілення частинок карбідів вольфраму по всьому об'єму наплавленого шару зумовлює однакову твердість по глибині покриття і значно збільшує стійкість покриття до корозійного зношування. Показано, що мікротвердість матриці композиційного матеріалу TeroCote 7888T на основі NiCrBSi перевершує мікротвердість сталі 30X в 2,2 рази. За результатами корозійних випробувань встановлено, що захист сталі 30X наплавленим шаром на основі композиційного матеріалу TeroCote 7888T в умовах, що моделюють експлуатаційні, дозволяє знизити швидкість корозії робочих частин сталевих долот майже в 53 рази. Бібліогр. 10, табл. 1, рис. 4.

Ключові слова: наплавлення, карбіди вольфраму, мікроструктура, мікротвердість, зносостійкість, швидкість корозії, корозійна пляма

Бурові долота експлуатуються в різних кліматичних зонах, в агресивних умовах і піддаються різним навантаженням. Класичними ознаками зносу бурового інструменту в промисловості є: абразивний, ерозійний, ударний, фрикційний, внаслідок нагріву, корозійний, кавітаційний. Збитки, внаслідок зносу, проявляються не тільки у втраті засобів на закупівлю нового обладнання, але і в часі простою при ремонті. За більш ніж вікову історію було доказано, що нанесення захисних покриттів на робочі частини бурових доліт здатне значно збільшити термін служби бурового інструменту.

Для захисту бурового інструменту від різних видів зношування широко застосовуються композиційні матеріали на базі сплавів Ni, Fe, NiCr, NiCrBSi, латуні тощо, зміцнених карбідами вольфраму [1]. Перш за все це пов'язано з унікальними властивостями армуючої фази таких сплавів, як карбідами вольфраму. Найпоширеніше застосування в промисловості має монокарбід вольфраму WC зі стехіометрією 6,13 % C. Він характеризується високою твердістю HV 2200, міцністю на стискання 5...7 ГПа і модулем пружності 700 ГПа, зберігає механічні властивості в широкому діапазоні температур, стійкий до фрикційної корозії і здатний утворювати міцний зв'язок з металами [2, 3].

Проблема корозії поруч із інтенсивним зносом дуже важлива для робочих органів долота під час буріння нафтогазових свердловин. Стійкість і показники буріння буровими сталевими долотами

із захисним покриттям, в тому числі долотами з породоруйнівними елементами у вигляді полікристалічних алмазних різців, прямо залежить від здатності елементів «озброєння» доліт чинити опір абразивному зносу припою та ділянок лопастей корозійному зносу навколо цих елементів, які прагнуть зруйнувати систему кріплення цих породоруйнівних елементів. Тому, захисне покриття сталевих ділянок робочих органів лопастей, розташованих навколо ріжучих і калібруючих елементів утримує їх від вибивання, сприяє оголенню, збільшенню розміру виступу та поступового випадання окремих елементів.

Проведені дослідження зносостійкості композиційних матеріалів в умовах гідроабразивного зношування [4] показали, що зносостійкість захисного покриття, нанесеного з використанням TeroCote7888T з колотими частинками карбіду вольфраму, перевищує зносостійкість покриттів, нанесених з використанням реліту «ЛЗ-11-7» (сферичні гранули карбіду вольфраму) та Diamax M (подрібнені частки карбіду вольфраму) в 1,7 та 2,9 рази, відповідно. Грунтуючись на результатах досліджень гідроабразивного зношування композиційних матеріалів, головну увагу було приділено композиційному сплаву TeroCote 7888T, який відноситься до категорії корозійностійких захисних матеріалів.

Зважаючи на зазначене вище, мета роботи полягала у дослідженні корозійної стійкості металу, наплавленого з використанням композиційного

Стефанів Б.В. – <http://orcid.org/0000-0002-7159-8762>, Ниркова Л.І. – <http://orcid.org/0000-0003-3917-9063>, Осадчук С.О. – <http://orcid.org/0000-0001-9559-0151>

© Б.В. Стефанів, Л.І. Ниркова, А.В. Ларіонов, С.О. Осадчук, 2020

матеріалу TeroCote 7888T в лабораторних умовах, які моделюють експлуатацію бурового долота під час буріння свердловини (температури, хімічного складу, наявності зносу, тощо).

Матеріали та методи. Об'єктом досліджень вибрано композиційний матеріал – гнучкий шнур TeroCote 7888T. Дослідження мікроструктури проводили за стандартною методикою на оптичному металографічному мікроскопі ММТ-1600В. Цифрове зображення мікроструктури було отримано за допомогою камери Carl Zeiss ICc5. Мікротвердість вимірювали за стандартною методикою згідно з ГОСТ 2999 [5] на мікротвердомірі ПМТ-3. Корозійні випробування проводили методом масометрії згідно з ГОСТ 9.908 [6].

Результати дослідження. Для нанесення захисного покриття на зразки використовувався композиційний матеріал (самофлюсуючий припій TeroCote 7888T у вигляді гнучкого шнура діаметром 5 мм згідно з DIN 8555: G21 – 350 – GR). Шнур мав серцевину із нікелевого дроту діаметром 1,2 мм та оболонку матричного сплаву системи NiCrBSi з високим вмістом карбиду вольфраму. Робоча температура наплавлення: 1170 °C (± 50 °C). Розмір частинок колотого карбиду вольфраму: 0,10...0,70 мм. Вміст карбиду вольфраму в матричному сплаві не перевищує 65 мас. %.

Дугове наплавлення дослідних зразків проводили за допомогою зварювального апарату ПРС-3М. Нанесення наплавленого шару виконували дуговим способом неплавким вольфрамовим електродом в захисному газі – технічному аргоні. Оптимальний режим з найменшим тепловкладенням був такий: $U = 10...12$ В; $I = 50...60$ А, швидкість наплавлення: 2...4 м/год. Наплавлення проводили в горизонтальному положенні на всіх сторонах прямокутного зразка. Середня товщина наплавленого шару становила 8...10 мм. Після наплавлення зразки шліфували, товщина наплавленого шару з кожної сторони становила приблизно 1,5...1,8 мм.

ного шару з кожної сторони становила приблизно 1,5...1,8 мм.

Для визначення мікроструктури було виготовлено мікрошліф зі зразка з наплавленим шаром. Металографічні дослідження показали, що наплавлений шар і основний метал поєднує тонкий перехідний шар дифузійного походження (рис. 1), що вказує на те, що не відбулось оплавлення основного металу і розчинення в ньому присадного металу. Мікроструктура наплавленого сплаву містить твердий розчин на основі нікель-хром, зміцненого карбідами вольфраму, і вмістом депресантів кремнію та бору. Присутність бору та кремнію в складі присадних дротів надає їм самофлюсуючі властивості при напавленні на сталь. Карбіди вольфраму неправильної форми (різних розмірів) розподілені по всьому полю мікрошліфу.

З літератури відомо, що якісне зносостійке покриття повинно мати рівномірне розподілення твердих фаз з відстанню між цими фазами меншою, ніж розмір абразивних частинок [7]. Таке рівномірне розподілення частинок карбідів вольфраму по всьому об'єму наплавленого шару зумовлює однакову твердість по глибині та значно збільшує стійкість покриття до корозійного зношування.

Вимірювання мікротвердості на поверхні наплавленого шару та основного металу було проведено на мікротвердомірі ПМТ-3, при збільшенні $\times 130$ за відношенням навантаження до площі відбитка. Застосовували вантажі вагою 50 г (для основного металу) та 200 г (для наплавленого шару). Зразок було розділено на три ділянки для вимірювань: основний метал, матриця в середині наплавленого шару, частинки карбідів вольфраму (рис. 1). На кожній ділянці виконували десять вимірювань при витримці 15 с. За отриманими даними визначено середні значення для кожної ділянки (рис. 2): 1 – основного металу (сталь 30X) – 1400,8 МПа; 2 – матриці на основі сплаву NiCrBSi – 3123,5 МПа; 3 – карбідів вольфраму – 16850 МПа (16,8 ГПа).

Корозійну стійкість наплавленого шару на основі сплаву TeroCote 7888T оцінювали на двох

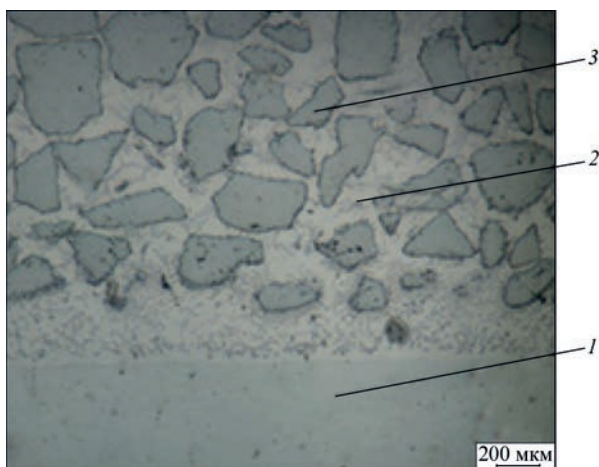


Рис. 1. Мікроструктура наплавленого шару (сталь 30X): 1 – основний метал; 2 – матриця на основі сплаву NiCrBSi; 3 – карбіди вольфраму

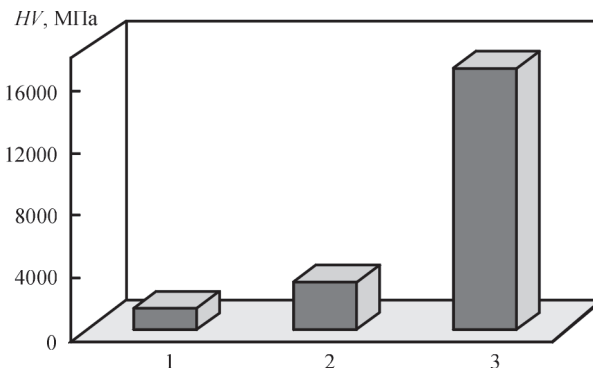


Рис. 2. Середні значення мікротвердості ділянок зразка: 1 – сталь 30X; 2 – матриця на основі сплаву NiCrBSi; 3 – карбіди вольфраму

зразках (рис. 3, 4). Для порівняння оцінювали корозійну стійкість сталі 30X.

Стійкість наплавленого шару металу до дії рухомого середовища оцінювали за зовнішнім виглядом зразків та за швидкістю корозії. Для моделювання впливу корозійного середовища та твердих частинок, що присутні в буровому шламі під час буріння свердловин, дослідження проводили у рухомому середовищі на основі 3 %-го розчину NaCl складу: 400 мл H_2O + 12 г NaCl + + 200 г кварцового піску на установці mlw MR25 за кімнатної температури. Тривалість витримування зразків у рухомому середовищі становила 95 год, швидкість потоку рідини 60...90 об./хв, а загальна тривалість випробувань (з перемішуванням та без перемішування) – 172 год. Після закінчення випробувань продукти корозії з поверхні зразків видаляли згідно з ГОСТ 9.907 [8]. Огляд поверхні зразків до та після досліджень проводили візуально. Площу корозійних уражень основного металу оцінювали згідно з ГОСТ 9.311 [9], пункт 5. Швидкість корозії зразків визначали методом масометрії за показниками згідно з ГОСТ 9.908 [6] в $г/(м^2 \cdot год)$:

$$V_p = \frac{\Delta m}{S t}, \quad (1)$$

де Δm – втрата маси зразка, г; S – площа поверхні зразка, $м^2$; t – тривалість досліджень, год.

Глибину проникнення корозії в мм/рік обчислювали за формулою:

$$V_h = 8,76 \frac{V_p}{\rho}, \quad (2)$$

де V_p – швидкість корозії, $г/(м^2 \cdot год)$; ρ – щільність металу, $г/см^3$.

Для сталі 30X – $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$, для композиційного сплаву TeroCote 7888T – $\rho = 12,4 \text{ г/см}^3$.

Результати дослідження наведено в таблиці та на рис. 3, 4.

Зразки з наплавленим шаром. Поверхня зразка до випробувань рівномірна, має металевий колір (рис. 3, а). Після випробувань на всій поверхні з обох боків видно плями потемніння наплавленого шару та язви діаметром не більше 1 мм. Корозійні ураження мають вигляд корозійних плям різного розміру: від $(10 \times 1) \text{ мм}$ до $(5 \times 3) \text{ мм}$ та дрібних язв (рис. 3, б). Сумарна площа корозійних уражень становить близько $0,00004 \text{ м}^2$ (при загальній площі поверхні зразка $0,0045 \text{ м}^2$).

Площа корозійних уражень основного металу становить близько 2 % (рис. 3, в) та оцінена балом 6 (площа ураження основного металу від 1 до 2,5 %) згідно з табл. 2 ГОСТ 9.311 [9] за десятибальною шкалою. Швидкість корозії зразка становила $0,257 \text{ г/(м}^2 \cdot год)$, глибина проникнення корозії – $0,18 \text{ мм/рік}$ (таблиця).

Зразок сталі 30X. Поверхня зразка сталі 30X (рис. 4, а) до випробувань має металевий колір. Після випробувань вся поверхня вкрита продуктами корозії бурого кольору (рис. 4, б), після видалення яких наявні корозійні плями, що займають більше ніж на 70 % всієї площі (при загальній площі поверхні зразка $0,0035 \text{ м}^2$), рис. 4, в. Згідно з ГОСТ 9.908 [6] тип корозії ідентифіковано як суцільна рівномірна. Швидкість корозії становила $8,42 \text{ г/(м}^2 \cdot год)$, глибина проникнення корозії – $9,5 \text{ мм/рік}$ (див. таблицю).

Згідно з ГОСТ 9.502 [10], якщо швидкість корозії заліза та чорних металів становить від 0,1 до 0,5 мм/рік, що оцінюють балом 6, стійкість металу

Швидкість та глибина проникнення корозії сталі 30X та наплавленого шару

Характеристика зразка	Швидкість корозії, $г/(м^2 \cdot год)$	Глибина проникнення корозії, мм/рік
Зразок з наплавленим шаром	0,257...0,261	0,18
Сталь 30X	8,42	9,5

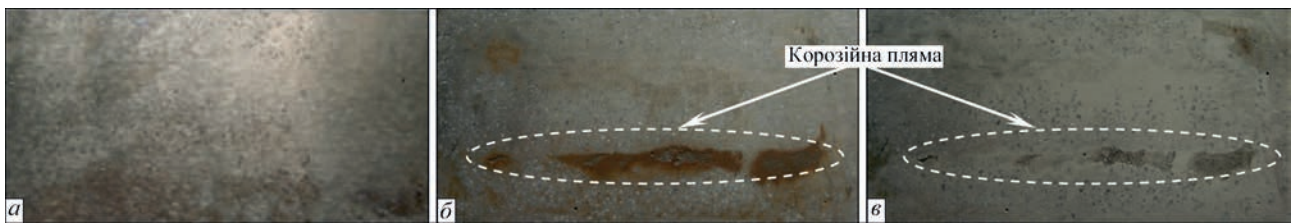


Рис. 3. Зовнішній вигляд поверхні зразка наплавленого шару на основі NiCrBSi: а – у вихідному стані; б – з продуктами корозії; в – після видалення продуктів корозії



Рис. 4. Зовнішній вигляд поверхні зразка наплавленого шару на основі сталі 30X: а – у вихідному стані; б – з продуктами корозії; в – після видалення продуктів корозії

лу проти рівномірної корозії вважають пониженою. Якщо швидкість корозії становить від 5,0 до 10,0 мм/рік (оцінюють балом 9), метал вважають слабостійким.

Висновки

1. За результатами досліджень встановлено, що при напавленні TIG способом з використанням гнучкого шнура TeroCote 7888T під час формування напавленого шару відбувається рівномірне розподілення частинок карбіду вольфраму по всьому об'єму напавленого шару, яке обумовлює рівномірне розподілення твердості за глибиною покриття.

2. Результати проведених досліджень показали, що застосування захисного покриття, нанесеного з використанням гнучкого шнура TeroCote 7888T, дозволяє знизити швидкість корозії робочих органів бурового інструменту зі сталі 30X близько в 53 рази, що сприятиме подовженню його експлуатаційного ресурсу.

Список літератури

1. Износостойкие материалы. Прутки для газовой и TIG-сварки [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://docplayer.ru/32381351-Iznosostoykie-materialy-i-tyvordye-splavy-na-osnove-kobalta.html>.
2. Самсонов Г.В., Витрянчук В.Н., Чаплыгин Ф.И. (1974) Карбиды вольфрама. Киев, Наукова думка.
3. Pierson H.O. (1996) *Handbook of Refractory Carbides and Nitrides*. New Jersey, Noyes Publications.
4. Стефанів Б.В. (2016) Исследование износостойкости защитных покрытий в условиях гидроабразивного изнашивания. *Автоматическая сварка*, **9**, 29–32.
5. ГОСТ 2999-75. Методи вимірювання твердості за Вікерсом.

6. ГОСТ 9.908-85 ЕСЗКС. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.
7. Износостойкие материалы [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.svarka52.ru/upload/osnovnoi_katalog_po_paike_i_Terocote_BRAZING_1.pdf.
8. ГОСТ 9.907-83 ЕСЗКС. Металлы, сплавы, покрытия металлические. Методы удаления продуктов коррозии после коррозионных испытаний.
9. ГОСТ 9.311-87 ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Метод оценки коррозионных поражений.
10. ГОСТ 9.502-82 ЕСЗКС. Ингибиторы коррозии металлов для водных систем. Методы коррозионных испытаний.

References

1. *Wear-resistant materials*. <https://docplayer.ru/32381351-Iznosostoykie-materialy-i-tyvordye-splavy-na-osnove-kobalta.html> [in Russian].
2. Samsonov, G.V., Vitryanyuk, V.N., Chaplygin, F.I. (1974) *Carbides of tungsten*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
3. Pierson, H.O. (1996) *Handbook of refractory carbides and nitrides*. New Jersey, Noyes Publ.
4. Stefaniy, B.V. (2016) Investigation of wear resistance of protective coatings under conditions of hydroabrasive wear. *The Paton Welding J.*, **9**, 26–29.
5. GOST 2999-75: *Vickers hardness test* [in Ukrainian].
6. GOST 9.908-85 (USCAP): *Metals and alloys. Methods for determination of corrosion and corrosion resistance indices* [in Russian].
7. *Wear-resistant materials*. http://www.svarka52.ru/upload/osnovnoi_katalog_po_paike_i_Terocote_BRAZING_1.pdf [in Russian].
8. GOST 9.907-83 (USCAP): *Metals, alloys, metallic coatings. Methods for removal of corrosion products after corrosion tests* [in Russian].
9. GOST 9.311-87 (USCAP): *Metal and non-metal inorganic coatings. Method of corrosion damage evaluation* [in Russian].
10. GOST 9.502-82 (USCAP): *Inhibitors of metals corrosion for aqueous systems. Methods of corrosion tests* [in Russian].

CORROSION RESISTANCE OF COMPOSITE MATERIAL DEPOSITED BY TIG METHOD USING FLEXIBLE CORD TeroCote 7888T

B.V. Stefaniv, L.I. Nyrkova, A.V. Larionov, S.O. Osadchuk

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

Increasing the corrosion resistance of drill bits with protective coatings is an urgent problem in Ukraine. For drilling tool, the main indicators of physical and mechanical properties of wear-resistant coatings are abrasive wear, corrosion resistance and hardness (microhardness). It allows effectively resisting wear of working bodies of blades and a body of drill bits under the conditions of alternating and shock loads, hydroabrasive wear, corrosion, erosion, etc. It was investigated that a uniform distribution of tungsten carbide particles throughout the whole volume of deposited layer causes the same hardness over the coating depth and significantly increases the resistance of coating to corrosion wear. It is shown that microhardness of the matrix of a composite material TeroCote 7888T based on NiCrBSi exceeds the microhardness of steel 30Kh by 2.2 times. According to the results of corrosion tests, it was established that the protection of steel 30Kh by a deposited layer on the basis of a composite material TeroCote 7888T under the conditions simulating operating ones allows reducing the corrosion rate of working bodies of steel drill bit by almost 53 times. 10 Ref., 1 Tabl., 4 Fig.

Keywords: surfacing, tungsten carbides, microstructure, microhardness, wear resistance, corrosion rate, corrosion spot

Надійшла до редакції 05.11.2019

XXIII Міжнародна конференція
«Неруйнівний контроль та моніторинг технічного стану»

14–18 вересня Одеса, Україна
<http://pwi-scientists.com/ukr/nktd2020>