

ОСОБЛИВОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ БУРОВИХ ДОЛІТ

Б.В. Стефанів

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

Розглянуто і вивчено особливості зносу робочих органів корпусів сталевих, матричних бурових доліт та головок і визначені критерії ремонтпридатності. Проведений аналіз зношених ділянок робочих органів відпрацьованих корпусів бурових доліт показав, що найчастіше при бурінні відбувається знос різців, посадочних гнізд і рідше вузлів промивних каналів корпусів бурових доліт. Металографічні дослідження показали, що наплавлений шар і основний метал поєднує тонкий перехідний шар дифузійного походження, що вказує на те, що не відбулось оплавлення основного металу і розчинення в ньому присадного металу. Встановлено, що економічна доцільність ремонту доліт має місце у випадках, якщо собівартість такого ремонту не перевищує третини вартості самого долота. Багаторазове повторне відновлення робочих органів зношених ділянок у декілька разів зменшує собівартість виготовлення нових доліт. В результаті проведених виробничих випробувань відновлених бурових доліт встановлено, що ремонт зношених ділянок робочих органів дозволяє значно подовжити експлуатаційний ресурс і заощадити 30...50 % коштів первісної вартості конкретного типу доліт. Бібліогр. 12, табл. 2, рис. 8.

Ключові слова: зношування, наплавлення, карбіди вольфраму, ділянка, перемичка, алмазно-твердосплавний різець, полікристалічний алмазний різець, твердосплавне покриття, мікроструктура, зносостійкість

Розвиток технологічних процесів ремонту бурового інструмента не стоїть на місці, і на даний час підприємства та фірми в Україні і за кордоном пропонують різні способи ремонту зношених ділянок корпусів бурових доліт. Буровий інструмент, що використовується в газовій та нафтовій промисловості, під час експлуатації зношується, що призводить до скорочення строку експлуатаційного ресурсу і часто потребує заміни або ремонту.

Основними характеристиками зношування робочих органів бурових доліт (як власного, так і іноземного виробництва) на родовищах України є: зношування різців – 17 %, поломка різців – 30 %, сколювання різців – 31 %, випадіння різців – 3 %, зношування захисного покриття – 5 та 19 % – відсутність зношування. Наприклад, за кордоном величина проходки бурових доліт типу PDC (Polycrystalline Diamond Cutter), що використовуються для буріння на нафту і газу (за даними фірми Smith Inc), складає в середньому 1067,5 м [1]. В Україні величина проходки вітчизняних доліт (як правило, виробництва ІНМ ім. Бакуля) становить в середньому 300...400 м.

На даний час нові методи ремонту та відновлення зношених ділянок зносостійким покриттям дозволяють ефективно протистояти ряду проблем зношування лопатей і корпуса доліт в умовах знакозмінних та ударних навантажень, гідроабразивного зносу, корозії і т. д., за рахунок високої адгезійної міцності захисного поверхневого шару, зменшення коефіцієнту тертя, підвищення корозійної стійкості в агресивному середовищі при величині водневого показника ($pH = 7...12$).

Ведучі фірми-розробники Baker Hughes INTEQ, Bit-Tech, Dowdco, Halliburton Security DBS, Hughes Christensen, Ulterra Drilling, Reed Hycalog, Smith Tool, Varel, Tri-Max (всі США), TIX (Японія), United Diamond (Канада), Kingdrelm (Китай) та інші давно використовують покриття різного функціонального призначення при виготовленні та ремонті робочих органів бурових доліт. Розробка технологічних процесів виготовлення та ремонту бурових доліт постійно вдосконалюється за рахунок використання нових композиційних матеріалів та технологій нанесення захисних покриттів.

Існують основні способи наплавлень в залежності від виду використовуваної енергії: газове наплавлення, дугове наплавлення (відкритою дугою, в середовищі захисного газу, вібродугове, плазмове), електрошлакове, індукційне, лазерне, електронно-променеве. Вибираючи спосіб наплавлення, спочатку оцінюють можливість його застосування в даному конкретному випадку, потім визначають можливість забезпечення технічних вимог, що пред'являються до наплавлених основних матеріалів, і, нарешті, оцінюють економічну ефективність наплавлення. При оцінці економічної ефективності способу наплавлення загальну вартість ручного дугового наплавлення приймають за 100 %, газового – 74 %, вібродугового – 82 %.

При нанесенні композиційного матеріалу на зношені ділянки робочих органів доліт було віддано перевагу дуговому наплавленню. Суть процесу наплавлення полягає в використанні теплоти для розплавлення присадного матеріалу і його з'єднання з основним металом корпусу долота. Використовуючи можливості дугового наплавлення, на

Стефанів Б.В. – <https://orcid.org/0000-0002-7159-8762>

© Б.В. Стефанів, 2020

поверхні деталі можна отримати наплавлений шар необхідної товщини, хімічного складу з потрібними властивостями.

Зважаючи на зазначене вище, мета роботи полягала у дослідженні і розробці технології ремонту зношених ділянок робочих органів корпусів бурових доліт.

Матеріали та методи. Об'єкт досліджень – зношені ділянки робочих органів корпусів матричних і сталевих бурових доліт, що були у використанні. Дослідження мікроструктури проводили за стандартною методикою на електронному мікроскопі Tescan Mira 3 LMU та оптичному мікроскопі Неофот 32. Зварювальний апарат ПРС-3М, газополуменевий пальник Casto Fuse. Композиційний матеріал – TeroCote 7888T.

Результати дослідження. Для захисту робочих органів бурового інструменту від різних видів зношування широко застосовуються композиційні матеріали на базі сплавів Ni, Fe, NiCr, NiCrBSi, міді тощо, зміцнених карбідами вольфраму [2–5]. Перш за все це пов'язано з унікальними властивостями армуючої фази таких сплавів – карбідами вольфраму. Карбід вольфраму є одним з найбільш твердих та удароміцних карбідів, і наплавлення твердосплавного покриття (ТП) є швидким та простим способом нанесення карбідо-вольфрамового покриття на зношені ділянки робочих органів, що піддаються дії інтенсивних абразивних навантажень і зберігає механічні властивості в широкому діапазоні температур, стійкий до фрикційної корозії і здатний утворювати міцний зв'язок з металами [6, 7].

За результатами проведених робіт [8, 9] щодо відновлення робочих органів корпусів бурових доліт був обраний композиційний матеріал TeroCote 7888 T, який добре змочує основний метал як сталевих, так і матричних бурових доліт, та не має дефектів при нанесенні наплавленого шару на зношені ділянки посадкових гнізд отворів алмазно-твердосплавних різців (АТР) і тонких перемичок між гніздами, що, в свою чергу, сприяє механічній обробці отворів посадкових гнізд після наплавлення і зберігає геометрію для кріплення АТР.

Проведені дослідження зносостійкості композиційних матеріалів в умовах гідроабразивного зношування [10] показали, що зносостійкість захисного покриття TeroCote 7888T на основі нікелю з колотими частинками карбіду вольфраму перевищує зносостійкість реліту «ЛЗ-11-7» (сферичні гранули карбіду вольфраму) і Diamax M (подрібнені частки карбіду вольфраму) на основі заліза в 1,7 і 2,9 рази відповідно. За результатами досліджень зносостійкості був вибраний сплав TeroCote7888T, на основі якого були про-

ведені дослідження цього матеріалу на корозійну стійкість. Результати проведених досліджень на корозійну стійкість показали [11], що застосування захисного покриття, нанесеного з використанням гнучкого шнуру TeroCote 7888T, дозволяє знизити швидкість корозії робочих органів бурового інструменту зі сталі 30X близько в 53 рази, що сприятиме подовженню його експлуатаційного ресурсу. Ґрунтуючись на результатах досліджень гідроабразивного і корозійного зношування композиційних матеріалів, головну увагу було приділено даному сплаву, який відноситься до категорії корозійностійких захисних матеріалів.

Для відновлення зношених ділянок покриття корпусу бурових доліт використовували композиційний матеріал TeroCote 7888T. Цей матеріал діаметром 5 мм має осердя з нікелевого дроту діаметром 1,2 мм і оболонку з матричного сплаву на основі нікелю (система Ni–Cr–B–Si), армованого частинками карбіду вольфраму неправильної форми. Карбіди вольфраму характеризуються різними розмірами від 0,7 мм до декількох мікрон, і їх кількість в обсязі становить < 65 %. Робоча температура плавлення 1170 °C (± 50 °C). Основна структурна фаза сплаву γ-пересичений твердий розчин на основі нікелю, зміцненого карбідами вольфраму, з вмістом депресантів в мас. %: кремнію до 1,36 та бору до 0,6 (рис. 1, табл. 1).

На рис. 2 приведено розподіл елементів в композиційному матеріалі TeroCote 7888 T, який переконливо свідчить про те, що в основі матричного сплаву міститься твердий розчин на основі нікелю (мас. % 74,31), покритий сплавом системи Ni–Cr–Fe–Si–B. Кількісний мікроаналіз в досліджуваних ділянках підтверджує це (див. табл. 1).

Нанесення наплавленого шару на зношені ділянки робочих органів матричних і сталевих бурових доліт виконували ТІГ-способом неплавким вольфрамовим електродом в захисному газі – тех-

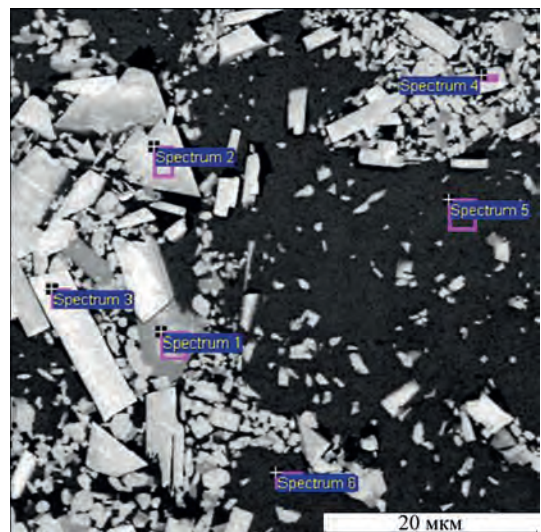


Рис. 1. Мікроструктура сплаву TeroCote 7888 T

Таблиця 1. Склад досліджуваних ділянок, мас. %

| Номер спектру | B | C | Si | Cr | Fe | Ni | W | Всього |
|---------------|------|------|------|------|------|-------|-------|--------|
| 1 | 0,56 | 4,84 | 1,08 | 8,77 | 0,00 | 18,83 | 65,91 | 100,00 |
| 2 | 0,63 | 8,19 | 0,00 | 0,25 | 0,71 | 1,70 | 88,52 | 100,00 |
| 3 | 0,65 | 8,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,42 | 88,73 | 100,00 |
| 4 | 0,62 | 9,10 | 0,00 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 89,98 | 100,00 |
| 5 | 0,52 | 3,60 | 1,36 | 6,08 | 2,50 | 74,04 | 11,89 | 100,00 |
| 6 | 0,00 | 3,32 | 1,25 | 6,27 | 2,54 | 74,31 | 12,32 | 100,00 |
| Середнє | 0,50 | 6,21 | 0,62 | 3,61 | 0,96 | 28,55 | 59,56 | 100,00 |
| Відхилення | 0,25 | 2,58 | 0,68 | 3,88 | 1,24 | 35,99 | 37,84 | – |
| Max. | 0,65 | 9,10 | 1,36 | 8,77 | 2,54 | 74,31 | 89,98 | – |
| Min. | 0,00 | 3,32 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,89 | – |

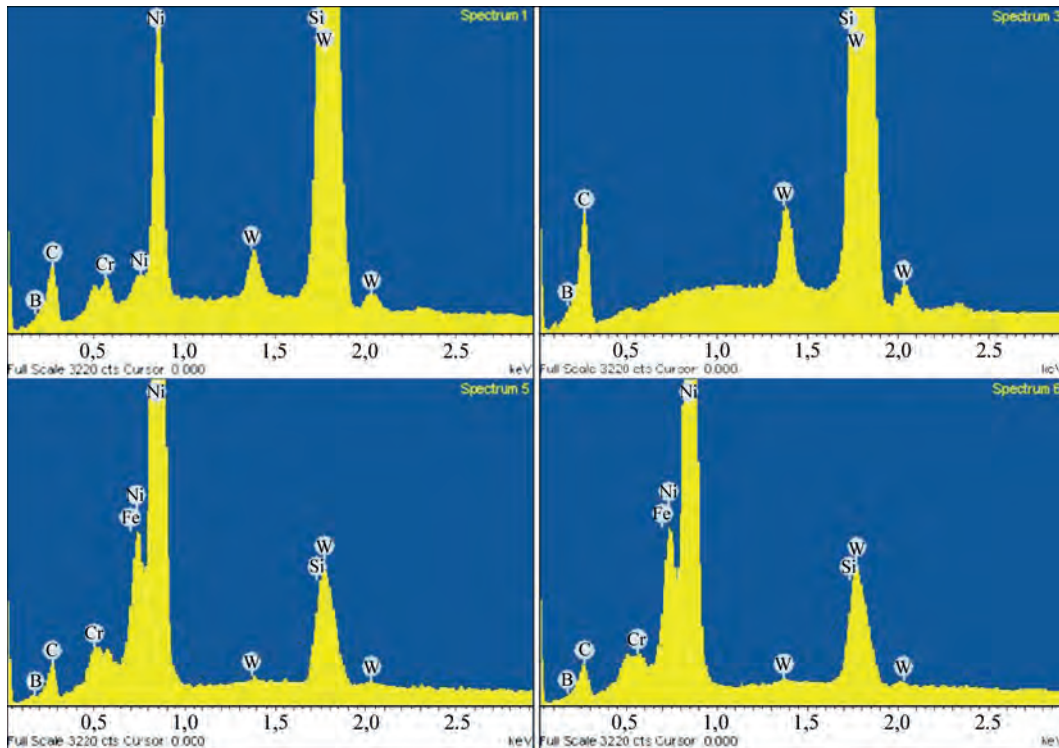


Рис. 2. Якісне розподілення елементів в матричному сплаві TegoCote 7888 T

нічному аргоні (табл. 2). Наплавлення зношених ділянок робочих органів проводили в горизонтальному положенні корпусу бурового долота. Середня товщина наплавленого шару становила 2...4 мм в залежності від товщини зношених ділянок.

Основний метод ремонту зношених ділянок робочих органів матричних (рис. 3, а) та сталевих доліт (рис. 3, б) заключався в поетапному виконанні технологічних операцій: діагностика зношених ділянок, демонтаж зношених алмазно-твердосплавних різців та твердосплавних вставок, механічна обробка зношених ділянок лопатей корпусу; механічна обробка гнізд робочих органів лопатей; щільна установка в ці гнізда графітових пробок; газополуменевий або індукційний підігрів робочих органів корпусу до температури

при 400...500 °С; наплавлення ділянок між пробками з набігаючої та збігаючої сторін посадкових гнізд робочих органів зносостійким сплавом; охолодження корпусу до кімнатної температури; видалення графітових пробок; механічна обробка отворів після наплавлення; встановлення в отвори гнізд алмазно-твердосплавних різців та твердосплавних вставок; попередній підігрів гнізд до температури в межах 450...500 °С; паяння алмазно-твердосплавних різців та твердосплавних вставок до температури 650...680 °С, оскільки більша температура починає впливати на міцнісні властивості полікристалічних алмазів; охолодження корпусу долота до кімнатної температури.

Для визначення мікроструктури захисного покриття були виготовлені мікрошліфи зі зразків

Таблиця 2. Режими дугового наплавлення

| Напруга, В | Рід струму | Струм, А | Витрата аргону, дм ³ /хв. | Швидкість наплавлення, м/год. | Джерело живлення |
|------------|-----------------------------|----------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| 10...12 | Постійний, пряма полярність | 80...100 | 2,5...3,0 | 2...4 | ПРС-3М |

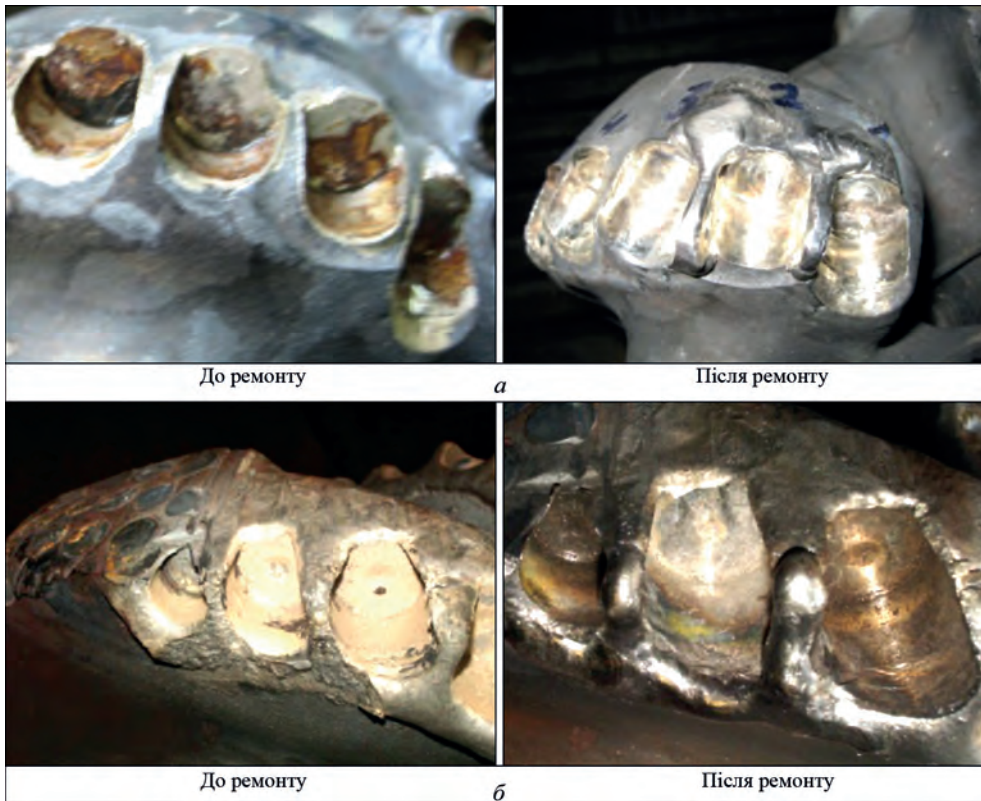


Рис. 3. Зовнішній вигляд зношених ділянок робочих органів: а – матричного долота; б – сталевого долота

сталевому (рис. 4) і матричного доліт (рис. 5) з наплавленим шаром. Металографічні дослідження показали, що наплавлений шар і основний метал поєднує тонкий перехідний шар дифузійного походження, що вказує на те, що не відбулось оплавлення основного металу і розчинення в ньому присадного металу.

Мікроструктура напавленого шару сталевого долота містить твердий розчин на основі нікель-хром зміцненого карбідами вольфраму, і вміст депресантів кремнію та бору. Присутність бору та кремнію в складі присадних дротів надає їм самофлюсуючі властивості при напавленні на сталь. Карбіди вольфраму неправильної фор-

ми (різних розмірів) розподілені по всьому полю мікрошліфа. З літератури відомо, що якісне зносостійке покриття повинно мати рівномірне розподілення твердих фаз з відстанню між цими фазами меншою, ніж розмір абразивних частинок [12]. Також були проведені роботи по нанесенню захисного покриття на зношені ділянки матричного долота (рис. 5) аналогічна структурі напавленого шару сталевого долота (рис. 4).

Отримана структура напавленого покриття сталевих і матричних доліт дозволяє ефективно захистити поверхню робочих органів від ерозійного та абразивного зносу, викликаного впливом

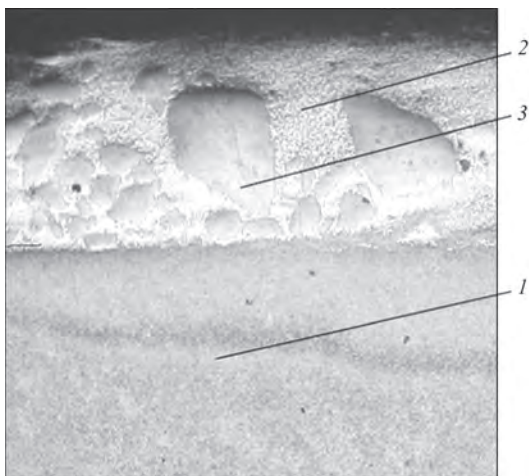


Рис. 4. Мікроструктура (×50) покриття сталевого долота: 1 – сталь 30Х; 2 – матриця на основі сплаву NiCrBSi; 3 – карбіди вольфраму

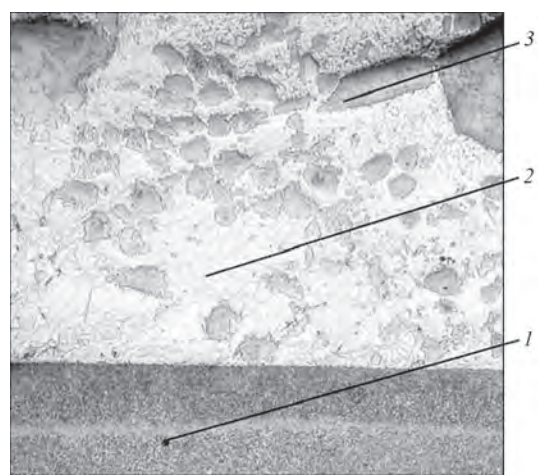


Рис. 5. Мікроструктура (×50) покриття матричного долота: 1 – карбидовольфрамова матриця; 2 – матриця на основі сплаву NiCrBSi; 3 – карбіди вольфраму



Рис. 6. Матричне долото діаметром 215,9 мм: *а* – до ремонту; *б* – після ремонту



Рис. 7. Цільнофрезероване сталеве долото діаметром 295,3 мм виробництва «Волгабурмаш» (Росія): до (*а*) та після ремонту (*б*)



Рис. 8. Цільнофрезерована бурова головка діаметром 212,7 мм виробництва «Бурінтех» (Росія): до (*а*) та після ремонту (*б*)

таких матеріалів, як пісок, гравій, земля, мінерали і т. д. В'язка матриця сплаву поглинає ударні навантаження і покращує опір корозії, в той час як спеціальна форма карбідів вольфраму унеможливує вирвати їх з матриці.

Особливості реставрації зношених ділянок робочих органів показано на прикладі ремонту бурових доліт різного сортаменту: відновлення робочих органів лопатей матричного корпусу бурового долота діаметром 215,9 мм виробництва фірми «Smith Bits», США (рис. 6), відновлення зношеної ділянки покриття робочих органів лопатей сталевго корпусу бурового долота діаметром 295,3 мм виробництва «Волгабурмаш», Росія (рис. 7) та відновлення зношених робочих органів лопатей бурової головки діаметром 212,7 мм виробництва «Бурінтех», Росія (рис. 8).

Відновлені Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України сталеві та матричні

бурові долота успішно пройшли апробацію на нафтогазоконденсатних родовищах Полтавської області. За результатами випробувань отримані Акти промислового впровадження даних доліт.

Згідно результатів досліджень і проведених робіт був складений обов'язковий регламент ремонту зношених ділянок робочих органів для всіх типорозмірів матричних і сталевих доліт.

Висновки

1. Діючий спосіб ремонту зношених ділянок дозволяє істотно (в 2...3 рази) збільшити термін служби робочих органів корпусів бурових доліт, що працюють у важких умовах корозійно-абразивного зношування.

2. За результатами промислових випробувань відновлених сталевих і матричних бурових доліт встановлено, що застосування даної технології ремонту при бурінні газових і нафтових свердловин

дозволяє продовжити робочий ресурс і заощадити приблизно до 100 % коштів первісної вартості даного долота.

Список літератури

1. Драганчук О.Т., Пригоровська Т.О (2008) Аналіз відпрацювання доліт типу PDC на родовищах України і світу. *Нафтогазова енергетика*, **4**, 9, 11–15.
2. Износостойкие материалы. Прутки для газовой и TIG-сварки [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://docplayer.ru/32381351-Iznosostoykie-materialy-i-tvyordye-splavy-na-osnove-kobalta.html>
3. Laansoo, A., Kübarsepp, J., Vainolab V., Viljus M. (2012) Induction brazing of cermets to steel. *Estonian J. of Engineering*, **18**, **3**, 232–242.
4. Материалы для пайки и наплавки TeroCote [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.castolin.com.ua/>
5. Материалы компании Postalloy для наплавки защитных покрытий [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.postle.com>
6. Самсонов Г.В., Витрянюк В.Н., Чаплыгин Ф.И. (1974) *Карбиды вольфрама*. Киев, Наукова думка.
7. Pierson, H.O. (1996) *Handbook of refractory carbides and nitrides*. New Jersey, Noyes Publications.
8. Стефанів Б.В., Хорунов В.Ф., Сабадаш О.М. и др. (2014) Особенности восстановления поврежденного промывочного канала стального бурового долота. *Автоматическая сварка*, **11**, 54–58.
9. Стефанів Б.В., Хорунов В.Ф., Сабадаш О.М. и др. (2015) Особенности реставрации рабочих органов матричных корпусов буровых долот. *Там же*, **8**, 51–54.
10. Стефанів Б.В. (2016) Исследование износостойкости защитных покрытий в условиях гидроабразивного износа. *Там же*, **9**, 25–29.
11. Стефанів Б.В., Ниркова Л.І., Ларіонов А.В., Осадчук С.О. (2020) Корозійна стійкість композиційного матеріалу, наплавленого з використанням гнучкого шнура TeroCote 7888T. *Автоматичне зварювання*, **2**, 29–32.

12. Износостойкие материалы [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.svarka52.ru/upload/osnovnoi_katalog_po_paike_i_Terocote_BRAZING_1.pdf

References

1. Draganchuk, O.T., Prygorovska, T.O. (2008) Analysis of drill bit working out of PDC type in deposits of Ukraine and world. *Nafrogazova Energetyka*, **4**, 9, 11-15 [in Ukrainian].
2. Wear-resistant materials. Rods for gas and TIG welding. <https://docplayer.ru/32381351-Iznosostoykie-materialy-i-tvyordye-splavy-na-osnove-kobalta.html>.
3. Laansoo, A., Kübarsepp, J., Vainolab V., Viljus M. (2012) Induction brazing of cermets to steel. *Estonian J. of Engineering*, **18**(3), 232–242.
4. Materials for brazing and surfacing Tero Cote. <http://www.castolin.com.ua/>
5. Materials of Postalloy Company for surfacing of protective coatings. <http://www.postle.com>
6. Samsonov, G.V., Vitryanyuk, V.N., Chaplygin, F.I. (1974) *Tungsten carbides*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
7. Pierson, H. O. (1996) *Handbook of Refractory Carbides and Nitrides*. New Jersey: Noyes Publications.
8. Stefaniv, B.V., Khorunov, V.F., Sabadash, O.M., Maksymova, S.V., Voronov, V.V. (2014) Features of reconditioning steel drill bit watercourse. *The Paton Welding J.*, **11**, 50-54.
9. Stefaniv, B.V., Khorunov, V.F., Sabadash, O.M. et al. (2015) Peculiarities of restoration of working parts of drilling bit matrix bodies. *Ibid.*, **8**, 47-50.
10. Stefaniv, B.V. (2016) Investigation of wear resistance of protective coatings under conditions of hydroabrasive wear. *Ibid.*, **9**, 26–29.
11. Stefaniv, B.V., Nyrkova, L.I., Larionov, A.V., Osadchuk, S.O. (2020) Corrosion resistance of composite material deposited by TIG method using flexible cord Tero Cote 7888T. *Ibid.*, **9**, 26-29.
12. Wear-resistant materials. http://www.svarka52.ru/upload/osnovnoi_katalog_po_paike_i_Terocote_BRAZING_1.pdf.

PECULIARITIES OF REPAIR OF WORN AREAS OF DRILL BIT BODIES

B.V. Stefaniv

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

The peculiarities of wear of operating elements of the bodies of steel, matrix drill bits and heads were considered and studied, and reparability criteria were determined. Performed analysis of worn areas of operating elements of used drill bit bodies showed that at drilling wear of cutters and seats is the most common, and wear of flushing components of the drill bit bodies occurs less often. Metallographic examination showed that the deposited layer and the base metal are connected by a thin transition layer of diffusion origin, which shows that base metal melting and filler metal dissolution did not occur in it. It is established that the drill bit repair is cost-effective in those cases, when the cost of such repair does not exceed one third of the cost of the bit proper. Multiple repeated reconditioning of operating elements of worn areas reduces the cost of manufacturing new drill bits several times. Conducted production trials of reconditioned drill bits showed that repair of worn areas of the operating elements allows considerable extension of the service life and saving 30...50 % of the initial cost of a specific drill bit type. 12 Ref., 2 Tabl., 8 Fig.

Key words: wear, surfacing, tungsten carbides, area, bridge, diamond-carbide cutter (DCC), polycrystalline diamond cutter (PDC), carbide coating (CC), microstructure, wear resistance.

Надійшла до редакції
02.06.2020

Х Міжнародна конференція
**«Математичне моделювання
та інформаційні технології в зварюванні
та споріднених процесах»**
Україна, Одеса, готель «Аркадія»
14 – 18 вересня 2020 р.
<http://pwi-scientists.com/ukr/mmi2020>

XXIII Міжнародна конференція
**«НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ та
МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ»**
Україна, Одеса, готель «Аркадія»
14 – 18 вересня 2020 р.
<http://pwi-scientists.com/ukr/nktd2020>