



ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОМЫВОЧНОГО КАНАЛА СТАЛЬНОГО БУРОВОГО ДОЛОТА

Б. В. СТЕФАНИВ, В. Ф. ХОРУНОВ, О. М. САБАДАШ, С. В. МАКСИМОВА, В. В. ВОРОНОВ

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены особенности дефектов изношенного стального бурового долота, полученного в процессе эксплуатации при бурении газовых скважин; описаны повреждения аномального износа рабочего органа промывочного канала; описаны способы подготовки изношенного участка к его восстановлению методом сварки и наплавки защитного покрытия. Особое внимание уделено анализу микроструктуры и химической неоднородности границы соединения сталь 40X + защитное износостойкое покрытие, нержавеющая сталь 08X18H10T + защитное износостойкое покрытие, нержавеющая сталь 08X18H10T + сталь 40X + защитное износостойкое покрытие; определена микротвердость наплавленного слоя. Показано, что наплавка износостойкого покрытия обеспечивает эффективную защиту от эрозионного и абразивного износа долот при бурении средних и крепких пород. На основании полученных данных разработана технология восстановления рабочего органа промывочного канала данного долота. Буровое долото прошло успешную апробацию при бурении газовых и нефтяных скважин мягких, средне-твердых и твердых пород на предприятии «Представительства USEIS SA» в Полтавской области. Библиогр. 2, табл. 3, рис. 5.

Ключевые слова: буровые долота, сверхтвердые материалы, защитное покрытие, наплавка, износостойкость, сварка, микротвердость, прочность, реставрация рабочих органов

При бурении газовых и нефтяных скважин рабочие органы корпусов стальных долот и головок подвергаются интенсивному абразивному, эрозионному, коррозионному, кавитационному, гидроабразивному, ударному износу, в результате чего происходит изменение первоначальной формы и снижение технико-экономических показателей бурового инструмента, поэтому повышение эксплуатационного ресурса рабочих органов стальных и матричных корпусов отечественных и зарубежных буровых долот и головок является актуальной задачей для Украины. Важным резервом продления ресурса долот и бурильных головок является реставрация, которая повышает эффективность их использования и снижает затраты при разработке проблемных месторождений.

Развитие технологических процессов ремонта бурового инструмента не стоит на месте, и на данный момент предприятия и фирмы в Украине и за рубежом предлагают разные методы восстановления изношенных рабочих органов. В 2010–2012 гг. по программе «Ресурс» были проведены исследования степеней износа и особенностей дефектов алмазно-твердосплавных резцов (АТР) стальных и матричных буровых долот, применявшихся при бурении газовых и нефтяных скважин в горных породах. На основе этих исследований созданы таблицы износа и дефектов АТР согласно классификации Международной ассоциации буровых подрядчиков (IADC) в зависимости от физико-механических характеристик горных пород [1], разработан технологический процесс ремонта

стальных и матричных долот разного сортамента с АТР [2].

Задачей данной работы является оценка особенностей повреждений промывочного канала в результате аномального износа корпуса бурового стального долота с защитными покрытиями и определение критериев его ремонтпригодности для последующего восстановления рабочего органа.

Объектами исследований являются инструменты вращательного способа бурения — долота и бурильные головки. Зарубежный буровой инструмент в основном выполняется из твердых сплавов В25 и В35 производства шведской компании «Sandvik Coromant» (отечественные аналоги — сплавы ВК6 и ВК8) и оснащен поликристаллическими алмазными резами серий ХТ, НСR, НОТ, SQС, GDC и др. производства ведущих мировых компаний «Genesis», «Smith Bits», «Element Six». Рабочие органы бурового инструмента защищены поверхностными покрытиями, обладающими высокими трибологическими свойствами в условиях гидроабразивного износа.

Для реставрации изношенных буровых долот необходимо было разработать технологический регламент, включающий:

- анализ износа долота по классификации IADC;
- дефектную ведомость рабочих органов изношенного бурового долота;
- механическую обработку дефектных участков рабочих органов;

- специальную подготовку участков на поврежденных дефектных поверхностях;
- процесс восстановления первоначальной формы рабочих органов корпуса долота методами сварки;
- процесс восстановления защитных покрытий рабочего органа с сохранением исходных размеров долота.

Особенности реставрации долот с аномальным износом рабочего органа показаны на примере ремонта промывочного канала стального бурового долота диаметром 215,9 мм производства компании «Smith Bits» (США). Рабочие органы такого долота при вращательном бурении скважины, находясь под осевой нагрузкой при разрушении горной породы, перемещаются с различной скоростью по забою скважины и подвержены аномальному износу. Кроме того, вынос продуктов разрушения осуществляется буровым раствором под большим (1500 МПа) давлением, что создает дополнительную опасность разрушения промывочных каналов долота. Оценка состояния бурового долота после проходки 1000 м показала значительное повреждение отверстия промывочного канала стального корпуса с упрочняющим защитным покрытием — вырыв резьбовой втулки, изготовленной из сплава ВК8 (рис. 1), на которой крепилась твердосплавная насадка, и значительные нарушения формы канала. Причиной вырыва втулки с насадкой из корпуса долота, по нашему мнению, стало несоблюдение технологии изготовления резьбовой втулки промывочного канала. Итоговая оценка износа долота согласно классификации IADC: 3 7 LN N X (LN, NO) PR — «ремонту подлежит».

В процессе реставрации промывочного канала были проведены исследования по выбору материала, который бы соответствовал всем физико-химическим свойствам металла корпуса долота. Для осуществления этой задачи по результатам предварительных работ была разработана новая конструкция переходной втулки с соответствующей резьбой из коррозионностойкой стали 08X18H10T и технология реставрации поврежденного промывочного канала. Отработку сварки и наплавки проводили на макетных образцах: сталь 40X + защитное износостойкое покрытие; нержавеющая сталь 08X18H10T + защитное износостойкое покрытие; нержавеющая сталь 08X18H10T + сталь 40X + наплавленный металл.

Для экспериментов была выбрана ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом с присадочной проволокой 12X18H10T диаметром 1 мм. Одной из наиболее эффективных технологий реставрации долот является малозатратный и технологически приемлемый способ электродуго-

вой наплавки. Для наплавки защитного покрытия на макетные образцы применяли инверторный аппарат «Коралл-300» и использовали присадочный шнур TeroCote 7888 T диаметром 5 мм с сердечником 1,2 мм производства компании «Castolin Eutectic». Наплавку выполняли на оптимальных режимах с наименьшим тепловложением: $I = 80 \dots 100$ А, $U = 10 \dots 12$ В. Толщина наплавки составляла 2...3 мм.

Металлографические исследования сварных и наплавленных образцов проводили с помощью оптического микроскопа МИМ-8М и сканирующего электронного микроскопа Tescan Mira 3 LMU. Микротвердость по Виккерсу наплавленного слоя определяли на твердомере фирмы LECO (нагрузка 0,01...2 кг).

Для исследований использовали микрошлифы с износостойким покрытием TeroCote 7888 T, наплавленным на пластины из стали 40X и нержавеющей стали 08X18H10T.

На износостойкость изделий оказывает влияние целый ряд параметров: состав, структурные составляющие, твердость наплавленного металла. Например, на твердость поверхностного слоя защитного покрытия значительно влияет распределение твердых частиц карбида вольфрама в объеме наплавленного слоя. Естественно, с увеличением количества карбида вольфрама с высокой микротвердостью будет повышаться функциональная эффективность наплавленного покрытия. TeroCote 7888 T — высокоэффективный износостойкий материал в виде гибкого шнура, который состоит из никель-хромового проволоочного сердечника, покрытого эластичным связующим, содержащим смесь карбидов неправильной формы и порошкообразный никелевый сплав. Покрытие из TeroCote 7888 T исключительно твердое, состоит из плотной массы ультратвердых частиц карбидов вольфрама, интегрированных в вязкую никель-хромовую матрицу.

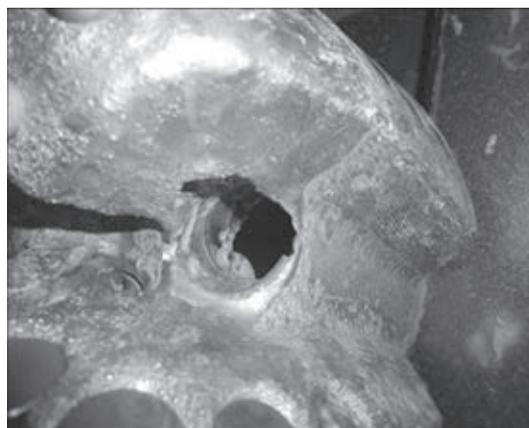


Рис. 1. Внешний вид износа рабочего органа промывочного канала стального корпуса с упрочняющим защитным покрытием

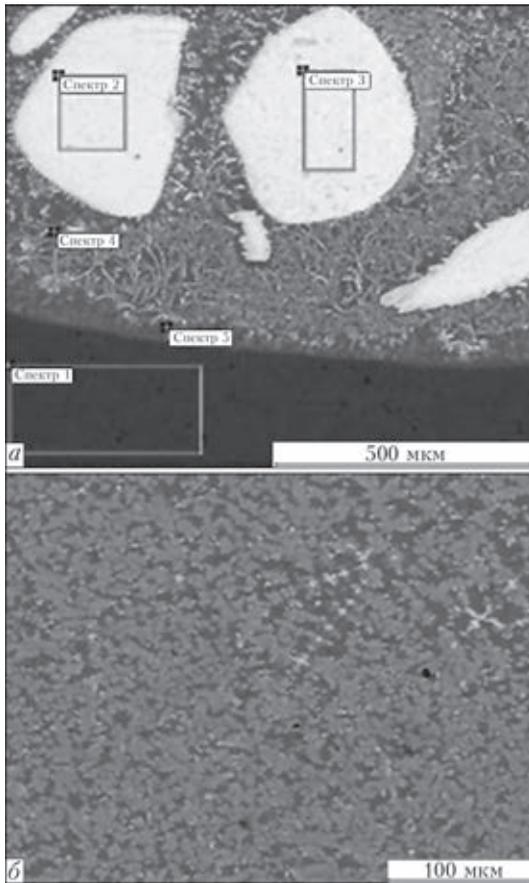


Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла TeroCote 7888 T на подложке из стали 40X (а) и его верхней зоны (б)

Покрытие TeroCote 7888 T, наплавленное на сталь 40X, характеризуется литой неоднородной структурой (рис. 2, а). В нижней зоне наплавки сосредоточены довольно крупные карбидные частицы длиной до 500 мкм. В матрице наплавки на основе никеля (33,7 %), содержащей железо (26,80 %), вольфрам (25,95 %) и другие элементы (табл. 1), выявлены иглоподобные дисперсные выделения светлой фазы на основе вольфрама, в состав которых входит хром, железо, никель.

В структуре металла верхней зоны наплавки в отличие от структуры нижней зоны не содержится крупных карбидов (рис. 2, б). Микротвердость верхней зоны наплавки составляет 4460...4830 МПа, что несколько ниже микротвердости нижней зоны (4460...5420 МПа). Следует отметить, что микротвердость карбидной фазы стабильна и составляет 18540 МПа.

В металле наплавки TeroCote 7888 T на нержавеющей стали 08X18H10T тоже содержатся крупные карбиды вольфрама в нижней зоне (рис. 3, а, табл. 2).

В металле верхней зоны наплавки меньше карбидов, на некоторых участках они вовсе отсутствуют (рис. 3, б). Микротвердость матрицы наплавки в верхней

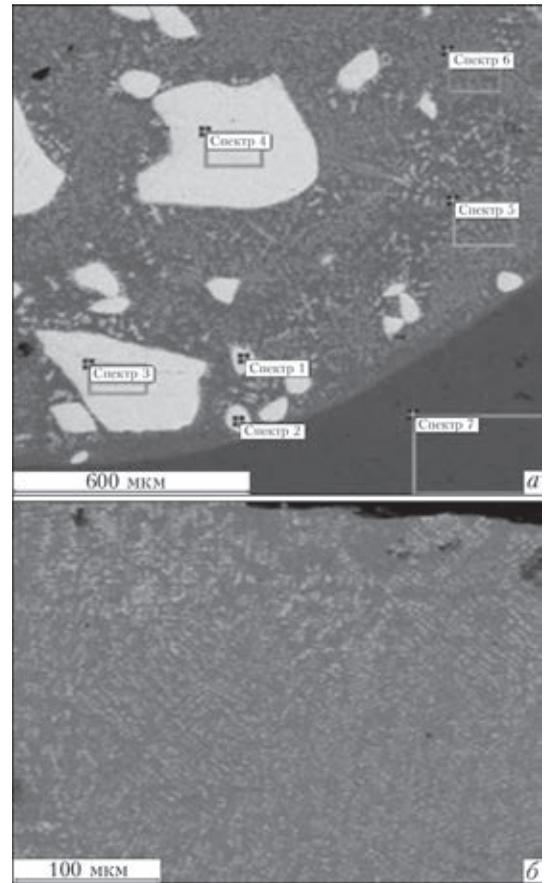


Рис. 3. Микроструктура нижней (а) и верхней (б) зоны наплавленного металла TeroCote 7888 T на подложке из стали 08X18H10T

зоне снижается до 3510...3760 МПа, в нижней — до 3360...4210 МПа.

Металлографические и микрорентгено-спектральные исследования соединения сталь 08X18H10T + сталь 40X + наплавленный ме-

Таблица 1. Состав наплавленного металла TeroCote 7888 T на подложке из стали 40X, мас. %

Номер спектра	C	O	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	W
1	6,64	-	0,30	3,59	0,51	88,96	-	-
2	12,86	1,15	-	-	-	-	-	85,99
3	11,80	1,03	-	-	-	-	-	87,17
4	6,25	-	-	7,29	-	26,80	33,70	25,95
5	6,47	-	-	9,38	-	41,13	30,99	12,04

Таблица 2. Состав наплавленного металла TeroCote 7888 T на подложке из стали 08X18H10T, мас. %

Номер спектра	C	O	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	W
1	12,02	0,79	-	-	-	-	-	-	87,18
2	12,31	-	-	-	-	-	-	-	87,69
3	12,18	-	-	-	-	-	-	-	87,82
4	12,72	1,33	-	-	-	-	-	-	85,95
5	6,96	-	-	-	13,91	-	23,25	35,72	20,17
6	6,65	-	-	-	15,25	-	24,01	34,86	19,23
7	5,42	-	0,53	0,37	24,13	0,70	54,35	14,51	-

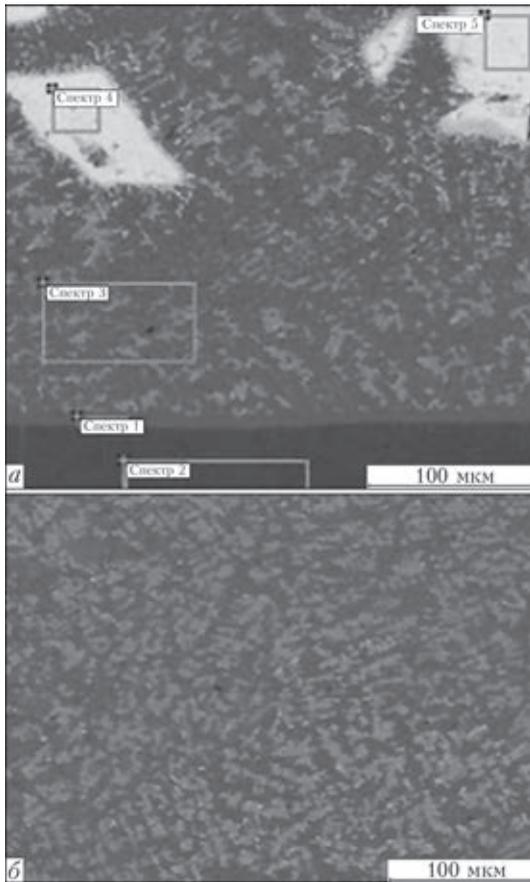


Рис. 4. Микроструктура нижней (а) и верхней (б) зоны наплавленного металла в соединении 08X18H10T + 40X + TeroCote 7888 T

Таблица 3. Состав наплавленного металла в соединении 08X18H10T + 40X + TeroCote 7888 T, мас. %

Номер спектра	C	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	W
1	5,51	-	10,23	-	39,12	37,35	7,79
2	6,50	0,33	4,22	0,57	88,38	-	-
3	6,60	-	12,11	-	31,27	35,33	14,69
4	12,16	-	-	-	-	-	87,84
5	11,31	-	-	-	-	-	88,69

талл показали, что в результате наплавки сформировалось соединение наплавленного материала TeroCote 7888 T + сталь 40X. Микроструктура наплавленного металла состоит из карбидов вольфрама и матрицы на основе никеля сложного состава (табл. 3). Как и в предыдущих вариантах, карбиды вольфрама содержатся преимущественно в нижней зоне наплавки (рис. 4, а) и отсутствуют в верхней зоне (рис. 4, б). Во всех наплавках наблюдается незначительная пористость.

Полученная структура наплавленного металла обеспечивает высокую микротвердость карбидной фазы и исключительно эффективную защиту от эрозионного и абразивного износа при бурении средних и крепких пород. Применяемый способ повышения износостойкости с помощью присадочного шнура TeroCote 7888 T позволяет значительно (в 2...3 раза) увеличить срок службы рабочих органов корпусов буровых долот, работающих в условиях коррозионно-абразивного изнашивания.

Полученные результаты были использованы при восстановлении рабочего органа промывочного канала на изношенном корпусе цельнофрезерованного стального бурового алмазного долота диаметром 215,9 мм. После механической обработки поврежденного отверстия промывочного канала была изготовлена втулка из нержавеющей стали 08X18H10T и установлена в отверстие корпуса с заданным углом наклона. Для соединения втулки с корпусом долота применяли сварку с небольшим тепловложением на оптимальных режимах $I = 80...120$ А, $U = 10...12$ В с целью снижения уровня остаточных напряжений в наплавленных слоях. Сварку выполняли с присадочной проволокой 12X18H10T диаметром 1 мм. Для наплавки защитного износостойкого покрытия на режиме $I = 100...120$ А, $U = 10...12$ В использовали шнур TeroCote 7888 T.

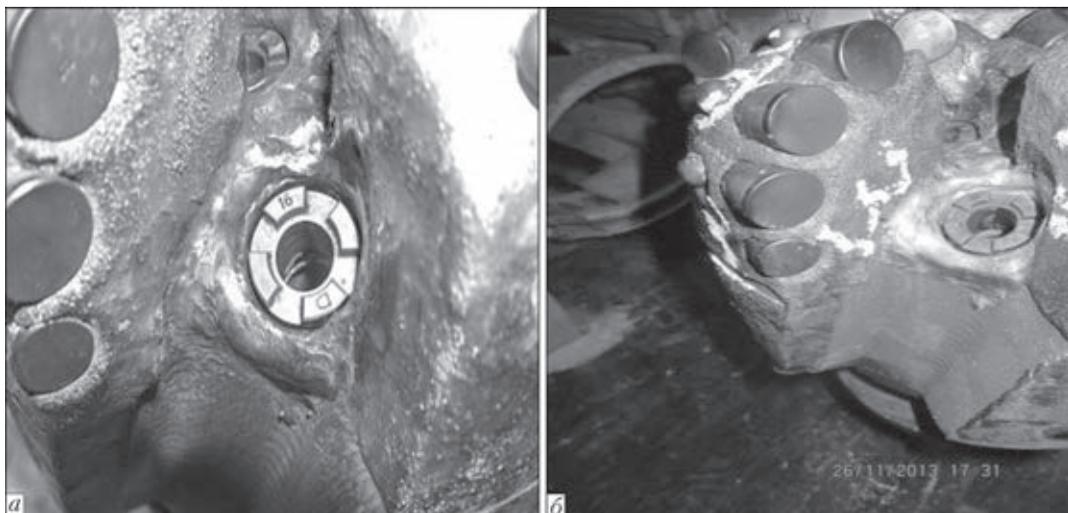


Рис. 5. Внешний вид восстановленного промывочного канала до (а) и после (б) испытаний



Для апробации восстановленного долота (рис. 5, а) проводили бурение газовых скважин Руновщина (Полтавская область). Буровое долото 8^{1/2}" SI519 BPX SD0502 отрабатывали на скважине № 101 в интервалах 533...542, 549...734, 744...886 м и на скважине № 110 в интервале 1890...2679 м (рис. 5, б). Для бурения скважин № 101 и 110 соответственно применяли буровые установки TW-100 и Skytop Brewster N-75 А. Бурение выполняли при скорости вращения установки 60...90 об/мин с усилием подачи бурового инструмента 2...12 т. Для промывки скважин и охлаждения бурового инструмента использовался буровой раствор (удельный вес 1,12...1,16 г/см³, вязкость 47 сек, рН 10...11,4, расход 20...25 л/с). Интервалы бурения представлены алевролитами, аргиллитами и абразивными песчаниками с пределом прочности при одноосном сжатии до 120 МПа.

По результатам испытаний получен акт промышленного внедрения данного долота. Общая проходка долота после реставрации составила 1125 м. Разработанная технология реставрации продлила рабочий ресурс долота на 112,5 %, после апробации износ рабочих органов, оснащенных АТР, составил 10...20 %, а восстановленного

промывочного канала — 1...2 %, т. е. возможна его очередная реставрация.

Выводы

1. Разработанная принципиальная технология реставрации стального корпуса долота соответствует классификации долот по коду IADC (промывочный канал) для эксплуатируемого бурового инструмента.

2. Технология нанесения защитного покрытия может применяться также для восстановления других дефектных участков рабочих органов стальных корпусов буровых долот с защитными покрытиями для сплошного бурения.

3. Результаты исследований могут быть использованы в горнодобывающей промышленности Украины и других стран.

1. *Особенности износа и критерии ремонтпригодности буровых долот с алмазно-твердосплавными резцами* / В. Ф. Хорунов, Б. В. Стефанов, О. М. Сабадаш, В. В. Воронов // Автомат. сварка. – 2012. – № 10. – С. 43-47.
2. *Особенности технологий ремонта буровых долот с алмазно-твердосплавными резцами* / В. Ф. Хорунов, Б. В. Стефанов, О. М. Сабадаш, В. В. Воронов // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Зб. наук. статей за результатами, отриманими в 2010–2012 рр. – К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона, 2012. – С. 488–493.

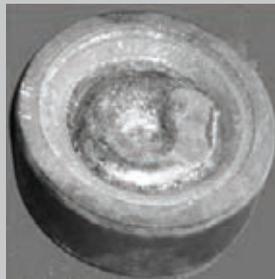
Поступила в редакцию 14.05.2014

Разработано в ИЭС

ДУГОВАЯ НАПЛАВКА ШТАМПОВ И ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

Для наплавки малогабаритных штампов применяются аппараты для аргонодуговой или микроплазменной сварки (рабочий диапазон токов 20–60 А). При этом порошковая проволока служит присадочным материалом. Для наплавки разработана гамма порошковых проволок диаметром 1,8...2,8 мм (ПП-АН130, ПП-АН132, ПП-АН140, ПП-АН147, ПП-АН148, ПП-Нп-35В9Х3СФ). В зависимости от типа штампа и условий его работы может быть выбрана оптимальная марка проволоки, позволяющая наплавить слой легированного металла с заданными служебными свойствами (термо-, тепло- и износостойкостью и т.п.) и твердостью от HRC 45 до HRC 62.

Стойкость наплавленных штампов в несколько раз выше стойкости штампов из инструментальных сталей типа 5ХНМ, 30Х2НМФ, 4Х5МФС и т. п.



Штамп для объемной штамповки колец, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН130



Вырубной штамп, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН148