

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Б. В. СТЕФАНОВ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Увеличение ресурса эксплуатации буровых долот с защитными покрытиями, работающих в условиях абразивного, эрозионного, коррозионного изнашивания, является актуальной проблемой в Украине. Цель данной работы — исследование износостойкости защитных покрытий в условиях гидроабразивного износа. Исследована износостойкость защитных покрытий с карбидами вольфрама TeroCote 7888T, Diamax M, релит «ЛЗ-11-7», наплавленных дугowym способом на сталь 45 в условиях гидроабразивного износа. Установлено, что износостойкость композиционных сплавов релита «ЛЗ-11-7» и Diamax M, состоящих из армирующих частиц (плавленных сферических и дробленых карбидов вольфрама) на Fe-основе носит избирательный характер и несущественно зависит от свойств и твердости матрицы. Применение композиционного сплава TeroCote 7888T (колотый карбид вольфрама) на Ni-основе обеспечивает эффективную защиту в условиях гидроабразивного износа. При комнатной температуре износостойкость защитного покрытия TeroCote7888T превосходит износостойкость релита «ЛЗ-11-7» и Diamax M в 1,5 и 2,0 раза соответственно. Этот сплав дает возможность увеличить срок службы защитных покрытий восстановленных дефектных участков корпусов буровых долот, которые работают в тяжелых условиях коррозионно-абразивного изнашивания. Библиогр. 10, табл. 3, рис. 5.

Ключевые слова: наплавка, наплавочные материалы, карбиды вольфрама, структура, прочность, износостойкость, композиционные сплавы, твердость, релит.

В последние десятилетия при бурении газовых и нефтяных скважин широкое применение получили стальные долота с защитными покрытиями рабочих органов. Проведенный анализ отработанных буровых долот с защитными покрытиями показал, что чаще всего при бурении происходит износ резцов, посадочных гнезд и режущих узлов промысловых каналов корпусов буровых долот [1–4]. Особое внимание было уделено износу посадочных гнезд под резцы, так как при бурении основная нагрузка ложится на резцы. При механическом взаимодействии с горной породой разрушаются не только резцы, но и посадочные гнезда. Износостойкие покрытия предохраняют износ посадочных гнезд лопастей и узлов промысловых каналов корпусов буровых долот от гидроабразивного и коррозионного износа.

Увеличение ресурса эксплуатации бурового инструмента, работающего в условиях гидроабразивного износа и ударной нагрузки, является актуальной проблемой в Украине. На данный момент существуют методы восстановления только изношенных резцов буровых долот. Для восстановления изношенных защитных покрытий посадочных гнезд рабочих органов необходимо реставрировать геометрию отверстия основного металла, то есть нанести промежуточный слой основного металла и после этого — слой защитного твердосплавного покрытия различными методами. Ведущие западные фирмы давно используют из-

носостойкие покрытия различного функционального назначения в своей продукции [5–9].

Главной задачей данной работы является исследование износостойкости защитных покрытий в условиях гидроабразивного износа.

Наплавочные композиционные сплавы, состоящие из армирующих частиц WC и матрицы отличаются высокой износостойкостью в условиях абразивного, эрозионного, коррозионного изнашивания. Характерной особенностью процесса изнашивания таких сплавов является поэтапный износ отдельных компонентов композиции. При этом наблюдается так называемый «теневой эффект», когда выступающие более износостойкие армирующие частицы берут на себя основную нагрузку от разрушающих сил, предохраняя матрицу сплава от изнашивания.

Защитное покрытие представляет собой поверхностный слой рабочего органа бурового долота, целенаправленно создаваемый воздействием окружающей среды на поверхность материала долота, и характеризуется конечной толщиной, а также химическим составом и структурно-фазовым состоянием, отличным от аналогичных характеристик материала основного металла. Существующие способы нанесения покрытий на основной металл можно классифицировать: по методу получения — механические, физические, химические, электрофизические; по способам технологического процесса — гальванические, вакуумные, наплавки; по их функциональному на-

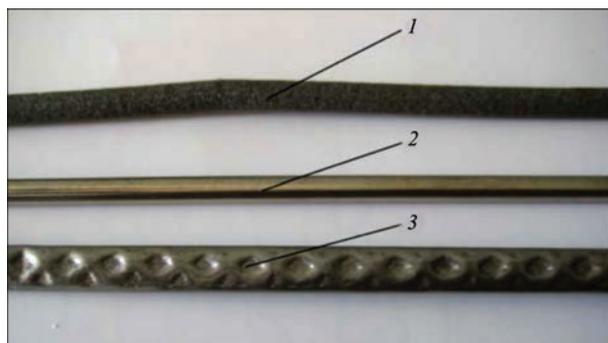


Рис. 1. Внешний вид наплавочных материалов: 1 — TeroCote 7888T (Castolin) на основе никеля; 2 — Diamax M (Castolin) на основе железа; 3 — релит «ЛЗ-11-7» (Украина) на основе железа

значению — износостойкие, коррозионностойкие, жаростойкие и другие.

Основываясь на результатах исследований технологии ремонта буровых долот [2–4], были проведены работы по выбору метода нанесения защитных покрытий на изношенные участки рабочих органов корпусов. Для осуществления данной задачи были исследованы свойства существующих износостойких материалов и технология реставрации, которая бы обеспечивала все физико-химические свойства основного металла корпуса стального долота.

Для исследования износостойкости защитных покрытий в условиях гидроабразивного износа были выбраны композиционные материалы, содержащие карбиды вольфрама на разной основе (рис. 1).

Исследование наплавов, выбранными износостойкими материалами, производили на опытных образцах, изготовленных из стали 45 толщиной 20 мм (рис. 2). В качестве способа наплавки была выбрана ручная дуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в защитном газе — техническом аргоне.

Замеры твердости *HRC* на поверхности наплавки осуществляли универсальным прибором TP5006. В результате было установлено, что твердость наплавленных слоев при наплавке на

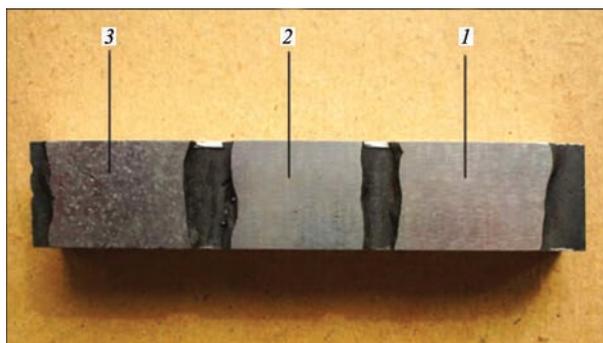


Рис. 2. Макроструктура образца с защитными покрытиями, нанесенными наплавочными материалами: 1 — TeroCote 7888T; 2 — Diamax M; 3 — релит «ЛЗ-11-7»

сталь 45 (эталон) с использованием присадочных материалов Diamax M и релита «ЛЗ-11-7» в среднем на 15...20 %, выше, чем при использовании TeroCote 7888T (табл. 1). Металлографические исследования наплавленных образцов проводили с помощью оптического микроскопа Неофот-32 (рис. 3). В покрытиях на никелевой основе (TeroCote 7888T) и железной основе (Diamax M и релит «ЛЗ-11-7»), наблюдается присутствие в матрице армирующих частиц WC. При этом армирующие частицы хаотично расположены по сечению наплавленного валика. Такая неоднородность распределения частиц карбида вольфрама по сечению наплавленного валика обуславливает изменение твердости по глубине слоя и может влиять на стойкость покрытия к гидроабразивному изнашиванию. В работах [2–4] показано, что более перспективным является композиционный износостойкий материал TeroCote 7888T, содержащий ультратвердые карбиды вольфрама в твердой матрице сплава никель-хром, которая поглощает ударные нагрузки и улучшает сопротивление абразивному износу и коррозии, а разномерные частицы колотого профиля карбидов вольфрама затрудняют вырыв их из матрицы.

Стойкость наплавленного покрытия к гидроабразивному износу определяли на машине НК-М [10]. Достоверность результатов испытания для каждого композиционного материала оценива-

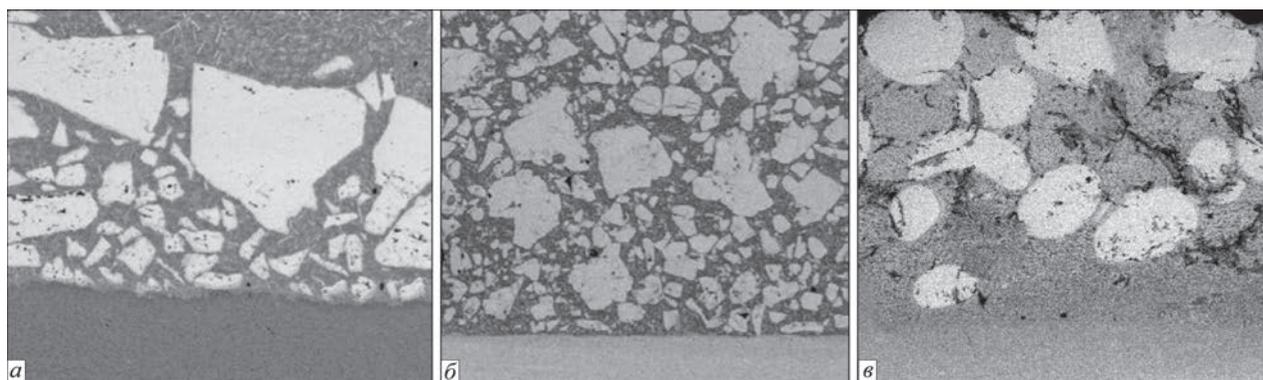


Рис. 3. Микроструктура ($\times 100$) металла покрытий, полученных с использованием присадочных материалов: а — TeroCote 7888T; б — Diamax M; в — релит «ЛЗ-11-7»

Таблица 1. Химический состав и твердость наплавленных слоев на сталь 45

| Материалы для наплавки | Тип гранул карбида вольфрама | Химический состав, мас. % | | | | | | | Твердость <i>HRC</i> (средняя) |
|------------------------|------------------------------|---------------------------|-------|------|-------|-------------|-------|-----------|--------------------------------|
| | | C | Ni | Cr | Fe | Si | W | Mn | |
| TeroCote 7888T | Колотый | 9,31 | 33,49 | 3,62 | 1,15 | – | 50,38 | – | 48,3 |
| Diamax M | Дробленый | 13,19 | – | – | 27,60 | – | 58,32 | 0,89 | 57 |
| Релит «ЛЗ-11-7» | Сферический | 11,98 | – | 0,14 | 21,23 | – | 65,33 | 1,32 | 58,8 |
| Эталон | сталь 45 | 0,42...0,5 | 0,25 | 0,25 | 97 | 0,17...0,37 | – | 0,5...0,8 | 30,0 |

Таблица 2. Химический состав, твердость и износ наплавленных слоев (*L* = 250 м)

| Номер образца | Материалы для наплавки | Способ наплавки | Твердость матрицы <i>HRC</i> | Масса образцов, г | | |
|---------------|---------------------------|-----------------|------------------------------|-------------------|-------|---------|
| | | | | до | после | разница |
| Эталон 1 | сталь 45 | – | 30 | 12,82 | 12,51 | 0,31 |
| 1.1 | TeroCote 7888T (Castolin) | Дуговая | 45 | 14,26 | 14,23 | 0,03 |
| 1.2 | | Дуговая | 50 | 13,95 | 13,91 | 0,04 |
| 1.3 | | Дуговая | 50 | 14,32 | 14,28 | 0,04 |
| Эталон 2 | сталь 45 | – | 30 | 12,90 | 12,59 | 0,31 |
| 2.1 | Diamax M (Castolin) | Дуговая | 56 | 14,36 | 14,26 | 0,10 |
| 2.2 | | Дуговая | 59,5 | 14,28 | 14,20 | 0,08 |
| 2.3 | | Дуговая | 55,5 | 14,22 | 14,08 | 0,14 |
| Эталон 3 | сталь 45 | – | 30 | 12,86 | 12,56 | 0,30 |
| 3.1 | Релит «ЛЗ-11-7» | Дуговая | 55 | 14,25 | 14,20 | 0,05 |
| 3.2 | | Дуговая | 60 | 14,23 | 14,16 | 0,07 |
| 3.3 | | Дуговая | 61,5 | 14,05 | 13,98 | 0,07 |

ли на трех образцах. Абразивом служил кварцевый песок грануляции 0,05...0,50 мм. В качестве образцов использовали пластины размером 20×16×6 мм, которые изготавливали следующим образом. На пластину размером 22×20×100 мм (см. рис. 2) наносили износостойкие материалы на основе никеля и железа с карбидами вольфрама дуговой наплавкой. Толщина наплавленных слоев составляла 5...7 мм. После наплавки эрозийным способом вырезали образцы размерами 21×17×7 мм.

Каждый образец методом шлифования доводили до необходимого размера 20×16×6 мм, толщина наплавленного слоя составила 3 мм. Износ образца оценивали по потере его массы (рис. 4, табл. 2). Взвешивание проводили на электронных весах ОНАУС с точностью измерения 0,01 г. При этом удельная нагрузка на образец составляла 0,5 МПа, скорость трения 0,58 м/с, путь трения — 250 м.

Износостойкость композиционных сплавов при гидроабразивном изнашивании оценивается

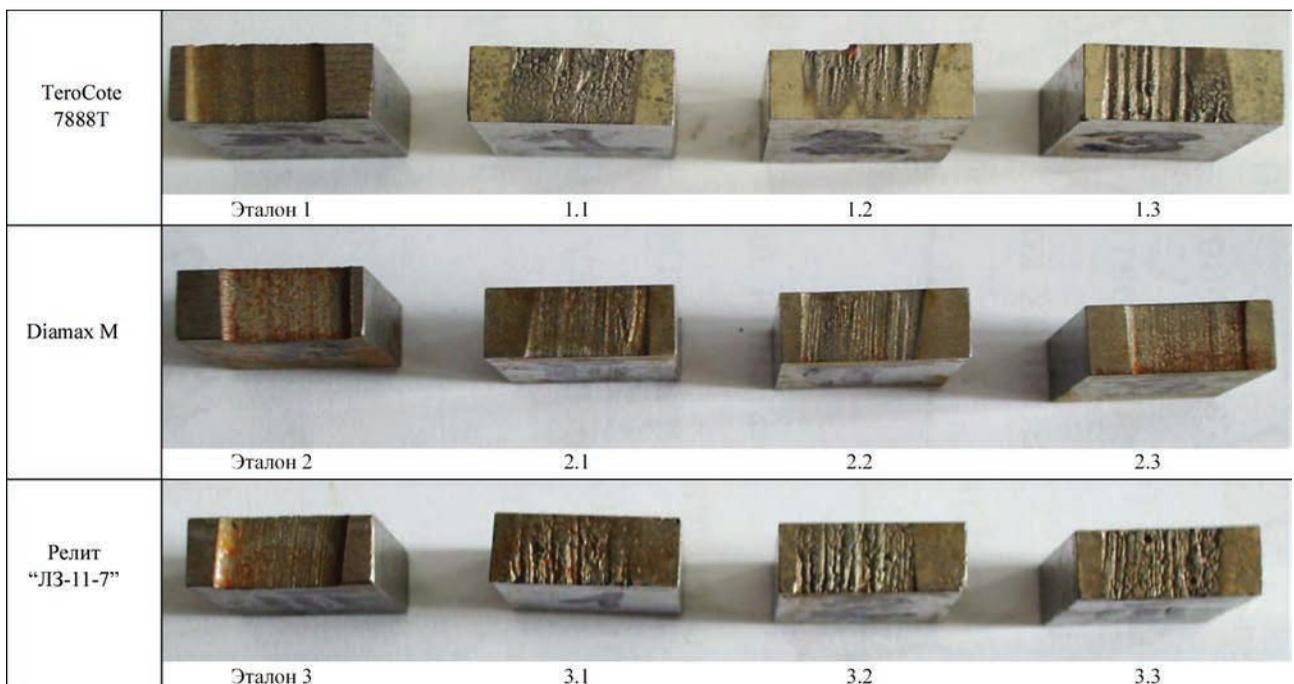


Рис. 4. Внешний вид образцов, наплавленных различными композиционными материалами, после испытаний на гидроабразивный износ (путь трения — 250 м)

Таблица 3. Химический состав, твердость и износ наплавленных слоев ($L = 1250$ м)

| Номер образца | Материалы для наплавки (припой) | Способ наплавки | Твердость матрицы HRC | Масса образцов, г | | |
|---------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|-------|---------|
| | | | | до | после | разница |
| Эталон 1 | сталь 45 | – | 30 | 12,20 | 10,7 | 1,5 |
| 1.1 | TeroCote 7888T (Castolin) | Дуговая | 45 | 12,07 | 11,85 | 0,22 |
| 1.2 | | Дуговая | 50 | 13,57 | 13,39 | 0,18 |
| 1.3 | | Дуговая | 50 | 13,95 | 13,70 | 0,25 |
| Эталон 2 | сталь 45 | – | 30 | 12,18 | 11,3 | 1,5 |
| 2.1 | Diamax M (Castolin) | Дуговая | 56 | 13,93 | 13,53 | 0,4 |
| 2.2 | | Дуговая | 59,5 | 13,84 | 13,29 | 0,55 |
| 2.3 | | Дуговая | 55,5 | 13,87 | 13,56 | 0,31 |
| Эталон 3 | сталь 45 | – | 30 | 12,15 | 10,66 | 1,49 |
| 3.1 | Релит «ЛЗ-11-7» | Дуговая | 55 | 13,64 | 13,35 | 0,29 |
| 3.2 | | Дуговая | 60 | 13,85 | 13,64 | 0,21 |
| 3.3 | | Дуговая | 61,5 | 13,69 | 13,20 | 0,49 |

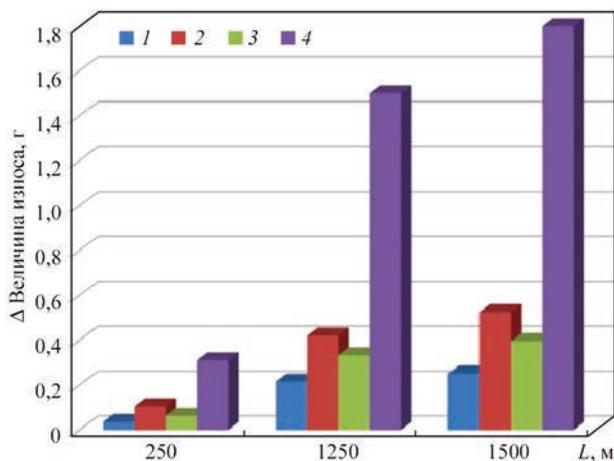


Рис. 5. Износ наплавленного слоя из композиционных материалов и стали 45: 1 — TeroCote 7888T; 2 — Diamax M; 3 — Релит «ЛЗ-11-7»; 4 — сталь 45

потерей массы наплавленного слоя от пути трения. Первоначально изнашивается матрица, оголяя карбиды вольфрама, которые в свою очередь существенно замедляют износ защитного покрытия. И в дальнейшем после износа карбидов вольфрама цикл повторяется (рис. 4, табл. 2). При увеличении пути изнашивания ($L = 1250$ м) характер износа наплавленного слоя для всех композиционных материалов приближается к линейной зависимости (табл. 3).

На рис. 5 приведены средние величины износа наплавленного слоя композиционных сплавов при гидроабразивном изнашивании в зависимости от пути трения.

Выводы

1. В результате исследований установлено, что сопротивление гидроабразивному износу защитного покрытия TeroCote7888T с колотыми частицами

карбида вольфрама превышает износостойкость релита «ЛЗ-11-7» (сферические гранулы карбида вольфрама) и Diamax M (дробленые частицы карбида вольфрама) в 1,5 и 2 раза соответственно.

2. Композиционный материал Castolin TeroCote 7888T наиболее перспективен для нанесения защитных покрытий на рабочие органы стальных буровых долот. Защитные покрытия на основе этого сплава позволяют увеличить эксплуатационный ресурс бурового инструмента при бурении газовых и нефтяных скважин.

1. Особенности технологий ремонта буровых долот с алмазно-твердосплавными резами / В. Ф. Хорунов, Б. В. Стефанив, О. М. Сабадаш [и др.] // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Збір. наук. статей за результатами, отриманими в 2010-2012 рр. – К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ, 2012. – С. 488–493.
2. Особенности восстановления поврежденного промывочного канала стального бурового долота / Б. В. Стефанив, В. Ф. Хорунов, О. М. Сабадаш [и др.] // Автоматическая сварка. – 2014. – № 11. – С. 54–58.
3. Особенности реставрации рабочих органов матричных корпусов буровых долот / Б. В. Стефанив, В. Ф. Хорунов, О. М. Сабадаш и др. // Автоматическая сварка. – 2015. – № 8. – С. 51–54.
4. Особенности технологии ремонта изношенных рабочих органов стальных и матричных корпусов буровых долот / Б. В. Стефанив, В. Ф. Хорунов, О. М. Сабадаш [и др.] // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Збір. наук. статей за результатами, отриманими в 2013-2015 рр. – К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ, 2015. – С. 688–696.
5. Материалы компании Postalloy (США) для наплавки защитных покрытий [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.postle.com>. С. 9.
6. Материалы для пайки и наплавки TeroCote[®] [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.castolin.com.ua>.
7. Наплавочные материалы БАТ-Сервис [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.b-trans.com.ua/qw/id/79>.
8. Материалы для наплавки и напыления [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.kennametal.com/stellite>.
9. Сплав релит наплавочный типа «ЛЗ»: [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.resourse@aranei.com>
10. Юзвенко Ю. А. Абразивный износ композиционных сплавов / Ю. А. Юзвенко, А. П. Жудра, Е. И. Фрумин // Автоматическая сварка. – 1973. – № 7. – С. 62–63.

Поступила в редакцию 12.04.2016